

BEST AVAILABLE COPY

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2002年12月27日 (27.12.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/103813 A1

(51) 国際特許分類: H01L 33/00, H01S 5/323

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/05998

(22) 国際出願日: 2002年6月17日 (17.06.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
PCT/JP01/05097 2001年6月15日 (15.06.2001) JP
特願2001-300928 2001年9月28日 (28.09.2001) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 日亜化学工業株式会社 (NICHIA CORPORATION) [JP/JP]; 〒774-8601 徳島県 阿南市 上中町岡 491番地 100 Tokushima (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 長濱慎一 (NAGAHAMA,Shinichi) [JP/JP]; 〒774-8601 徳島県 阿南市 上中町岡 491番地 100 日亜化学工業株式会社内 Tokushima (JP). 三谷友次 (MITANI,Tomotsugu) [JP/JP]; 〒774-8601 徳島県 阿南市 上中町岡 491番地 100 日亜化学工業株式会社内 Tokushima (JP). 柳本友弥 (YANAMOTO,Tomoya) [JP/JP]; 〒774-8601 徳島県 阿南市 上中町岡 491番地 100 日亜化

(81) 指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

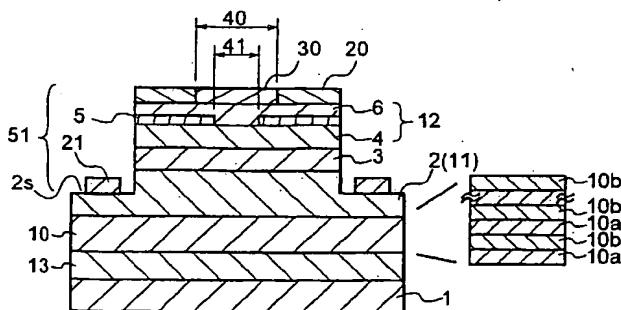
添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドスノート」を参照。

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND LIGHT EMITTING DEVICE USING IT

(54) 発明の名称: 窒化物半導体発光素子及びそれを用いた発光装置



surface.

(57) Abstract: A nitride semiconductor light emitting element being enhanced in light picking-up efficiency and capable of a high-output light emission, comprising, formed on a substrate, a first conductive-type layer (11), an active layer (3), and a second conductive-type layer (12), wherein a third nitride semiconductor layer (5) of InAlGaN functioning as a current constricting layer having an opening (41) is provided between a first nitride semiconductor layer (4) and a second nitride semiconductor layer (6) on the layer (4) within the second conductive layer (12), and an electrode (20) and a window (40) or a translucent film (30) provided in the window (40) are partly provided on the surface of the second conductive-type layer, thereby enabling a large quantity of light to be picked up from the upper

[統葉有]

WO 02/103813 A1



(57) 要約:

本発明は、窒化物半導体発光素子において、光の取り出し効率を向上させ、高出力での発光を可能とすることを目的とするものである。

本発明の構成としては、基板の上に、第1導電型層11、活性層3、第2導電型層12が積層された構造で、該第2導電型層12内に、第1の窒化物半導体沿う4、その上の第2の窒化物半導体層6との間に、開口部41を有する電流狭窄層となるInAlGaNの第3の窒化物半導体層5が設けられ、該第2導電型層表面には、部分的に電極20と窓部40若しくは、窓部40に設けられた透光性膜30とが設けられた構造であり、これにより、上面から多くの光を取り出せる構造とする。

明 細 書

窒化物半導体発光素子及びそれを用いた発光装置

5 技術分野

本発明は、窒化物半導体を用いた発光素子に係り、特にGaN、AlN、もしくはInN、又はこれらの混晶であるIII-V族窒化物半導体 ($In_xAl_{1-x}N$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq d$ 、 $b + d < 1$) を用いた発光素子、並びに、電流狭窄構造を有する面発光型レーザ素子、又は、電流狭窄層の開口部に対応した導波路を有する端面発光型発光素子(レーザ素子)で、発光装置、投光器、集合ランプ、イルミネーション、光結合装置、光検知装置、光通信装置、光ファイバモジュールの光源などに用いられる発光素子に関する。

背景技術

15 今日、窒化物半導体を用いた半導体レーザは、DVDなど、大容量・高密度の情報記録・再生が可能な光ディスクシステムへの利用に対する要求が高まりを見せている。このため、窒化物半導体を用いた半導体レーザ素子は、研究が盛んになされている。また、窒化物半導体を用いた発光素子、レーザ素子は、紫外域から赤色に至るまで、幅広く波長域、可視光域での発光波長が得られるため、その応用範囲は、上記光ディスクシステムの光源にとどまらず、レーザプリンタ、光ネットワークなどの光源、フルカラーディスプレイの光源、信号灯の光源など、多岐にわたるものと期待されている。

20 また面発光型の発光素子は、光集積化が可能のこと、微小スポットの光源、複数の光源が配列されたアレイ光源など、多くの半導体材料で、実現されている。しかし、窒化物半導体を用いた発光素子では、イオン注入による導電型層の形成が困難で、任意の形状でp-n接合、及び発光領域を設けることが困難であり、更に再成長も困難であることから、素子の積層構造でこのような光源を得ることが困難であった。

25 以上説明したように、従来の窒化物半導体を用いた発光素子で、微小スポット

トの光源、アレイ光源を得るには、光源の形状に合わせた開口部を有する遮光膜、反射膜で素子端面、側面、裏面などを覆う構造が用いられるが、このような構造では、開口部から出射する光の他に、反射膜により素子内部に反射された光が発生し、それによる損失が発生することから、光の取り出し効率が低いものしか得られない。

また、従来の窒化物半導体の発光素子は、図 7 A の模式断面図に示すように、基板上に、n 型層、活性層、p 型層が積層されて、p 型層表面に透光性の全面電極を形成し、p 型層内での電流の流れを広げることで、発光効率を高める構造が用いられているが、一方で透光性電極による光吸收で損失が発生し、光取り出し効率を高めることが困難な構造となっていた。このように、全面の p 電極を設けても、同一面側に正負一対の電極を設ける構造では、電流が偏って流れる傾向にあり、素子外部に出射される光の指向性は、異方性を有し、p 型層表面の上面からの光よりも、活性層端面からの光の強度が大きくなり、p 型層上面側に大きい強度の光が出射する指向性の素子となっていた。このような指向性に偏りがある発光素子は、その応用において所望の指向性の光源とするには、例えば LED ランプなどでは、外部の反射板、光学レンズに特別な設計が必要となり、窒化物半導体発光素子の応用の妨げとなっていた。

また、従来の窒化物半導体発光素子は、このような電流の局在化を改善する目的で、様々な電極配置、電極形状が用いられている。例えば、代表的な電極構造として、図 7 B ~ D に示すように、正負一対の電極を基板の同一面側に配置する構造として、矩形状、正方形、菱形、平行四辺形状の素子に対して、対角線上、若しくは対向する一対の辺の中央部若しくはその近傍に配置して、p 電極、n 電極の距離を長くして両者を離した構造として、電流の局在化を防ぐ試みが成されている。しかしながら、いずれの場合においても、図 7 B ~ D の正負電極を結ぶ直線で切断すると、いずれも図 7 A に示す断面構造となり、n 電極に近い領域に電流が局在化する。これは、図 7 A からも明らかのように、p 型層表面の全面電極（透光性）内と、p 型層とでは、p-n 接合面内方向への電流の広がりにおいて、電極内で電流が面内方向の流れが優先されるからである。すなわち、図 7 A に示す断面において、横方向（p-n 接合面内方向）の電

流の流れは、p型層よりも低抵抗な電極内が優先され、電流の多くが全面電極内を横方向に流れて、n電極に近い領域のp型層、活性層、n型層を縦方向（膜厚方向）に流れる経路Xが、他の経路、例えば、pの取り出し電極直下の領域で縦方向に流れてn型層内で横方向に流れる経路Z、p全面電極、n型層で横方向に流れる経路Y、などに優先して流れる。このため、n電極に近い領域で電流密度が高くなり、n電極に遠い領域で電流密度が低くなる分布となり、n電極に近い活性層端面から出射する光の強度が、その他の端面、p型層の表面に比べて大きくなり、光の異方性が強くなる。また、このような電流の局在化は、電流が大きくなるほど、大電流駆動であるほど、顕著となるため、大電流駆動で活性層面内でn電極に近い領域で高い電流密度となるため、発光効率が低下し、素子の劣化速度が増し、LEDの高出力化を困難なものとしている。しかし、p型層表面の電極を、全面とせずに、部分的なものとすると、抵抗率が高くなり、全面電極とする場合に比べて発光効率が低下する。

このため、n電極の形状、p取り出し電極の形状を変えて、電流の流れを制御する試みも成されているが、図7Dに示すように、n型層表面のn電極を活性層端面を囲むように設け、図7Aの断面では活性層の左右両側にn電極を配置する構造としたり、p取り出し電極を活性層端面の交叉する2面に延在させた形状として、電流を広げる試みが成されている。しかし、いずれの場合でも、上述した場合と同様に、n電極に近い活性層端面付近が、活性層の端面から離れた領域、中央部などに比べて、活性層面内での電流が優先して流れる構造であることに変化がないため、活性層端面付近からの光が、p型層表面からの光に比べて強度が大きくなり、活性層面内での指向性は改善されるが、p型層表面から上方への光が取り出されないため、それについても改善されない。

25 発明の開示

本発明では、従来困難であった基板の素子構造形成面側からの光の取り出し効率を高めた発光素子を得ることが可能となる。本発明の窒化物半導体発光素子の積層構造としては、図1を用いて説明すると、基板1上に窒化物半導体層

を積層して得られる素子であり、基板1上に、第1導電型層11、第2導電型層12、その間に活性層3を有するものである。特に、第2導電型層12内には、電流狭窄層5を有し、また第2導電型層12の上に、窓部40若しくは透光性膜30と電極20とが部分的に形成された発光装置である。具体的には、
5 第2導電型層内には、少なくとも第1の窒化物半導体層4とその上の第2の窒化物半導体層6との間に、開口部41を有する第3の窒化物半導体層5を含む電流狭窄層が設けられる。このとき、第3の窒化物半導体層5は、第2導電型と異なる第1導電型の層、すなわち反転層であってもよく、高抵抗なi型層、若しくは半絶縁性の層とする。すなわち、本発明の発光素子では、第2導電型層上の電極、若しくは光取り出しの窓部を設けることで上方、積層方向上方への光の取り出しを促す構造とし、さらに、第2導電型層内に、電流の経路を制限し、また、開口部を設けることで面内に電流を分散させる電流狭窄層を設けて、上面からの光の取り出し効率を高めた素子構造を有するものとなる。このように、窒化物半導体の発光素子では、GaAs系材料と異なり、多くの場合上層となるp型層が、高キャリア濃度とできず、p⁺型の高キャリア濃度層による電流拡散層を設けることが困難であるが、本発明では、電流の面内の経路を開口部内に制限し、また開口部が複数面内に分布することで、電流経路を面内に多く、かつ広く分布、分散させた構造として、発光効率を高めた構造としている。ここで、第1導電型層は、基板を含むもの、すなわち、第1導電型の基板を用いた構造であってもよい。
10
15
20

また、第2導電型層上面において、電極と窓部を部分的に設けることで、電流狭窄構造により開口部直下の活性層からの光を上方に位置する窓部から効率的に取り出す構造とすることで、従来の窒化物半導体発光素子にみられる透光性電極をほぼ全面を覆って第2導電型層表面に設ける構造とことなり、透光性電極により光の吸収をなくし、またシート抵抗の大きな透光性電極により、電流の面内への広がり抑制を低減し、電流狭窄層と組み合わせて用いることで、効率的に面発光の光取り出しを可能とする。
25

また、窓部と電極との配置において、窓部のp-n接合面、基板面へに投影した像が、開口部41の該面に投影した像と少なくとも一部が重なるように、配

置することで、活性層から上方へ伝搬する光が開口部を通して、そのように配置された窓部から効率的に光を外部に取り出すことができる構造となる。ここで、窓部は、第2導電型層表面において、電極、特にオーミック接触用の第1の電極20が部分的に設けられることで、電極が設けられなかつた領域が窓部となる。

また、窓部の少なくとも一部に、透光性膜を設けることで、半導体層内を伝搬する光を効率的に外部に光を取り出すことが可能となる。この透光性膜は、窓部の一部だけでも良く、窓部のほぼ全面に形成すると、窓部の全面において効率よく光を上方に取り出すことができ好ましい。また、透光性膜は、第2導電型層の電極、特にオーミック接触用の第1の電極の一部を覆って、その上に形成されても、光の取り出し構造とでき特に問題はなく、また第1の電極が透光性電極である場合には、透光性電極を透過した光も透光性膜を介して外部に効率よく取り出せる構造とできる。

さらに、本発明の発光素子構造として、反射層を、第2導電型層が積層された基板面、若しくはそれと対向する基板面の上に形成すると、基板面に垂直な方向への光の伝搬を効率よく発現でき、特に、窓部が設けられた第2導電型層表面へ光を導出させる構造とできる。好ましくは活性層と基板との間に反射層、特に、窒化物半導体からなる異なる組成、若しくは屈折率の層を交互、若しくは周期的に積層した半導体多層膜を形成することで、活性層に近接して反射層を配置でき、上面への光の出射を促す構造とできる。

また、本発明の発光素子において、第2導電型層表面に設けられるオーミック接触用の第1の電極20が、透光性電極である場合に、その上に、第1の電極に電気的に接続する第2の電極22を、図3に示すように設け、図12B、12Cに示すように、第2の電極22を第1の電極20表面上に広がるように、設けることで、シート抵抗の小さい第2の電極22でもって、電流を面内において広げ、一方で透光性の第1の電極20でもって、素子構造内から上方に伝搬する光を窓部だけでなく、第1の電極20を介する形態でも、上方へ光を取り出せる構造とでき、光の取り出し効率、電流の面内拡散を改善した発光素子とできる。

5 上述の電流狭窄層の開口部を面内に複数配置することで、本発明の発光素子において、開口部内に選択的に電流路を設けた構造とでき、その電流路が複数、また面内に分散して配置されることで、活性層内を縦に貫く電流路を面内に多く配置でき、活性層内で効率的に光電変換がなされる構造とでき、発光効率を向上できる。また、その複数の開口部に対応して窓部を形成、配置することで、面内に分散した開口部から上方へ伝搬する光を効率的に外部に取り出せる構造とできる。

10 以上の本発明の発光素子は、基板を挟んで正負一対の電極を対向配置した自立型の発光素子にも、基板の同一面側に正負一対の電極を配置したいわゆるフリップチップタイプにも適用されるものである。また、基板の同一面側に正負一対の電極を配置した発光素子において、一方の電極形成面となる第1導電型層11の一部を露出させた露出面2s(1.1s)を形成することにより、該露出面の上に、p-n接合部、若しくは活性層3とその上の第2導電型層12を含む凸部51が形成される場合に、前記第1導電型層の電極、特にオーム接觸用の電極21を、該凸部を囲むように、若しくは凸部側面150～154に沿って、形成することで、電流の経路を凸部の面内に広げることが可能となり、発光効率、光取り出し効率を高めた発光素子構造とできる。このとき、凸部の側面全てを囲むように閉口した形状の電極としても良く、凸部を囲んで一部が開口した電極形状であってもよい。

20 また、このようなp-n接合部50、若しくは活性層と第2導電型層とを含む凸部において、該凸部側面において、電流狭窄層がその側面を囲むように、すなわち凸部側面で電流狭窄層側面が形成されるように、開口部を設けることで、凸部側面、特に端面を流れる電流を制限し、大電流動作時に端面を集中的に電流が流れて端面から出射する光により発光ムラを防ぎ、静電気による衝撃に対して端面部で短絡することによる端面近傍が破壊されることを防ぐことができる。具体的には図1、13、18、26、28などに示すように、凸部51の側面150～154において、電流狭窄層5が設けられた形態であり、電流狭窄層側面が凸部側面を囲むように形成するものである。このような凸部側面のほぼ全てを、図28に示すように、電流狭窄層で囲むように形成すると、凸部

を囲むように形成された電極 2 1 に対応して、凸部側面付近の電流の流れを電流狭窄層が設けられることにより制限できる。

また、これとは異なり、電流狭窄層の開口部が、凸部 5 1 の側面 1 5 0 ～ 1 5 4 の少なくとも一部で開口するように形成された構造の発光素子とすることもできる。具体的には、図 1 5 に示すように、凸部 5 1 の側面において、電流狭窄層が設けられずに、開口部が配置される構造であり、面内の配置としては、図 1 7 に示すように、凸部 5 1 の一側面において、部分的に電流狭窄層 5 側面が開口する開口部 4 1 が、設けられた構造となる。この凸部側面に開口する開口部が設けられることで、上記凸部側面を囲む電流狭窄層が設けられる場合に比べて、凸部側面に開口した開口部において、電流が流れることで、その直下に位置する発光層となる活性層に電流が流れることで、そこで発光した光は、発光点近傍の凸部側面から多くの光が外部に取り出される構造とでき、凸部側面及び上面から光が取り出される素子構造とでき、上方だけでなく、横方向にも光の取り出しを実現し、光取り出し効率を高めた発光素子とできる。また、凸部側面において、全部ではなく、部分的に開口する電流狭窄層を、図 1 7, 2 6 に示すように設けることで、従来の素子構造のように側面に何ら電流狭窄層を設けない場合に比べて、側面において部分的に電流路が制限されることから、他に設けられた開口部にも多くの電流が分配され、例えば凸部側面に沿って、第 1 導電型層 1 1 の電極 2 1 が設けられた構造では、電極に近接する凸部側面に電流が集中する傾向にあるが、部分的に電流が制限されることで、このような傾向を押さえて、凸部側面に離間した内部面内にも多くの電流が分配された構造とでき、特に大電流動作時において、正負一対の電極間の短絡路となる凸部側面への電流集中、それによる側面からの発光集中を防ぎ、効率的に上面からの光取り出しを実現できる。

ここで、図 1 7 は、本発明の一実施形態に係る発光素子チップを示す模式的な斜視図（図 1 7 A）と、図 1 7 A における電流狭窄層 5 を抜き出した模式的な斜視図（図 1 7 B）とを示すものである。図 1 7 B 中の太線で示す 2 3 a、図中でハッチングを施した領域 2 2 a は、それぞれ第 3 の電極（第 1 の電極）と、第 2 の電極 2 2 とを電流狭窄層 5 表面に投影した像である。また、1 5 0

a、bは、図17Aにおいて、第1導電型層の電極、特にボンディング用の電極24に対峙する凸部側面の一部を示すものであり、ここでは、電流狭窄層に覆われており、電極24に対峙しない側面、例えば151cでは、開口部41が側面に開口していることを示している。また、図18は、図17と同様に、
5 発光素子チップの一部（図18A、C）と、その電流狭窄層5を抜き出した模
式的斜視図（図18B、D）であり、図18A、Bと、図18C、Dとは異なる
実施形態であり、両者とも凸部領域51の一部、特に端部付近を示すもの
あり、例えば、長手方向196を有する凸部、若しくはストライプ状の凸部、
における端部付近を示し、具体的には図12において、凸部の一部を構成する
10 ストライプ状の凸部における端部付近を説明するものである。また、図18B、
Dのハッチングを施した領域23a、30aは、図17Bと同様に、それぞれ
電流狭窄層5に投影した像である。また、図13Bにおいても、ハッチングを
施した領域22aは、pn接合面にボンディング用の電極を投影した像である。
図17、18、26に示すように、ボンディング電極22の直下に開口部41
15 を設けないこと、すなわち、pn接合面において、電極22の像22a（12
2a）と開口部の像とが重ならないように電流狭窄層を形成することで、電極
22直下、若しくはその近傍の開口部に電流が集中せずに、面内に分散した電
流路を形成して動作させることができる。さらに、図18Dでは、領域30
20 a（40a）を除く領域に電極23が形成される。図17、18では、第1の
電極20を図示せずに、第3の電極23のみを示しているが、第1の電極20
と第3の電極23とを1つとすること、すなわち、オーミック性、電流拡散性
を備えた電極（20と23とを兼用）を、第2導電型層に電気的に接続する形
態も本発明に適用できる。このように本発明の発光素子は、特に、第1導電型
層が、第2導電型層に比べて電気抵抗が大きい場合、すなわち、第1導電型層
25 よりも第2導電型層のキャリア濃度が小さい場合、さらには電極形成層、若し
くはその近傍において第1導電型層よりも第2導電型層のキャリア濃度が小
さい場合、に、本発明の発光素子における電流狭窄層、凸部領域、各電極配置、
形状を適用することで、活性層面に分散、分布した電流路を形成でき好ましい。
例えば、実施例1では、第1導電型層をn型窒化物半導体層、第2導電型層を

p型窒化物半導体層としており、上記条件に相当する。

また、このように凸部51が、複数の側面が設けられた構造では、その側面が交叉する隅部、若しくは角部において、それを囲むように第1導電型層の電極が近接して設けられた構造では、局部的に該角部、隅部に電流が集中する傾向にあるが、本発明ではこの隅部、角部に電流狭窄層を設けることで、電流集中を防ぎ、複数もうけた開口部に分散して電流を広げる構造とでき、電流の局所的な集中をなくした素子構造とできることで、高い発光効率を実現できる。具体的には、図17、18などに示すように、凸部51の側面が交わる角、若しくは隅において、電流狭窄層5を設けることで、この場所での電流路をなくし、他の開口部に電流を分散できる。ここで、凸部側面が交叉する角部は、図17、18に示すように角が設けられた領域であり、また図12Bに示すように、凸部51側面が交叉する領域で面取り、丸め、ラウンド加工が施された隅部においても、角を有する場合よりも電流集中傾向は緩和される傾向にあるが、この隅部にも電流狭窄層を設けることで、電流路を面内に配置された他の開口部に分配できる。また、このような角部に電流が集中する傾向は、開口部においても成り立つものであり、図11、19に示すように、開口部の形状が、角を有する構造よりも、角が面取りされた、若しくは丸められたり、ラウンド加工された形状とすることで、開口部周縁分において、特にその角に電流が集中する傾向を低減でき、均等に開口部内へ電流を分散できるため好ましい。

さらに、本発明の発光素子において、開口部と第2導電型層上に設けられた電極配置において、図19に示すように、p n接合面への投影像で考えると、開口部41に重ならず、その周り、周縁を囲むように形成すること（図19A、図19B）で、複数も受けられた開口部それぞれに対して、電極により電流路が形成される構造とできる。また、一方で、開口部の面積、幅が大きくなると、開口部の周縁部を多くの電流が流れるものとなり、開口部中央では、電流密度が疎な領域となる傾向が生まれ、特に大電流動作時においては、短絡傾向が強まることから、このような傾向が大きくなり、電流の面内の広がりとして機能する電流狭窄層がうまく機能しない事態が生まれる。このような場合には、図19C、図19Dに示すように、p n接合面の投影像において、開口部

の一部に重なるように、電極 20 を配置することで、このような電流密度が疎となることを防ぎ、開口領域内で、均等な電流広がりを実現でき、好ましくは、1つの開口部に対して、図に示すように、複数の領域に区分して区切るように、電極 20 を架橋するように形成することで、このような電流路が疎となる形態を改善できる。このとき、第 1 の電極は、オーミック接触用の第 1 の電極であるが、電流が面内に広く拡散されることにより実現されることとなるため、好ましくはシート抵抗が低くなるように、十分な膜厚で電極が形成されるものとなり、透過率の低い、不透光な膜として形成され、すなわち、前記オーミック接触用の第 1 の電極と電流拡散用の第 2 の電極 23 を兼ねるものとなり、またその形状、パターンは後述する電流拡散目的に第 2 の電極と同様に格子状などとできる。また、第 1 の電極 20 を透光性電極として形成する場合には、例えば図 3、図 12 に示すように、その表面の少なくとも一部に電流拡散用の第 2 の電極 23 を設けることで、同様な効果が得られる。ここで、図 19 は、開口部 41a と、第 1 の電極若しくは第 3 の電極 23a とを、pn 接合面 50 に投影した像を用いて、電極配置若しくは形状と、開口部配置若しくは形状との関係、特に両者が近接する様子、若しくは電極が開口部に沿ってもうけらる様子、また、一部が重なる、若しくは開口部を架橋する様子を説明するものである。

また、開口部 41 が、長手方向を有する場合には、該長手方向に沿って、好ましくは、長手方向とほぼ平行な第 1 の電極 20 を設けることで、開口部の周縁部に長辺に沿って電極が配置された構造とでき、長手方向に開口部内で電流を分散して、適度に分布させて動作させることができ、素子の抵抗を高めることなく、効率的に電流拡散を実現できる。具体的には、図 18A、18B に示すように、長手方向を有する開口部 41 に沿って、その長手方向にほぼ平行な第 1 の電極 20 が、少なくともその一部が長手方向にほぼ平行な電極として形成されている。また、このような開口部の長手方向と電極、若しくはその一部が、それに沿って、若しくは長手方向とほぼ平行に設ける関係は、第 1 導電型層の電極 21 との間にも成り立つものである。具体的には、図 18 に示すように、開口部 41 の長手方向、若しくはストライプ方向に沿って、若しくはこれ

とほぼ平行に、電極 21 の少なくとも一部が長手方向、ストライプ方向を設ける形状とすることである。このとき、凸部領域 51 の少なくとも一部が長手方向、ストライプ方向を有し、該方向にはほぼ平行に開口部の長手方向を配置することで、上記第 1 導電型層の電極 21 を、開口部に沿って配置しやすくなり好ましい。

また、凸部側面において、電流狭窄層が開口する開口部を有する構造において、第 1 導電型層のボンディング用の電極に対峙する凸部側面には、それを囲むように電流狭窄層を設け、すなわち、側面に開口する開口部を設けずに、その他の凸部側面において、1 側面の少なくとも一部に開口する電流狭窄層を設けると、側面からの良好な光取り出しが実現され好ましい。これは、図 17 に示すように、ボンディング用電極 24 は、ワイヤー接続時にボールが形成されるため、そのボンディング面を提供するようにボールの経（およそ $50 \mu m$ ~ $100 \mu m$ ϕ ）よりも大きな面積を有し、素子動作においては耐久性が得られるように厚膜で形成される傾向にあるため、発光層となる活性層 3 よりも高く形成されることから、そのボンディング電極 24 に近接する凸部側面では、電流狭窄層でもってその側面のほぼ全面を囲むように形成することで、電極 24 による側面発光の遮蔽を回避し、一方で、他の凸部側面では、上述したように凸部側面に部分的に開口する開口部を設けることで、側面からの発光を効率よく外部に取り出す構造とできる。ここで、電極 24 に対峙する凸部側面とは、電極 24 若しくはその側面と凸部側面とを任意に結ぶ直線において、該直線が凸部領域を通らず、介さず若しくは交叉することなく結ばれる凸部側面がこれに該当し、凸部側面が曲面を有するような場合には、連続する側面の一部が、電極に対峙する凸部側面に該当することがある。このように、本発明は、凸部側面が曲面となる場合にも適用できる。

本発明の発光素子において、特にその素子積層構造において、前記第 3 の窒化物半導体層が、4 元混晶の $Al_xIn_{1-x}Ga_{1-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y \leq 1$) を有することで、良好な電流狭窄層として機能でき好ましい。さらに好ましくは、この4元混晶の $AlInGaN$ の第 3 の窒化物半導体が、アンドープ層であることで、例えば、第 1 導電型の不純物をドープする場合に比

べて結晶性良く電流狭窄層を形成でき、特に、第1導電型層をn型層、第2導電型層をp型層とする窒化物半導体の素子構造においては、結晶性悪化により高抵抗化しやすいp型層が良好な結晶性で形成できるため好ましい。また、この第3の窒化物半導体層を挟む第1の窒化物半導体層（下層）、第2の窒化物半導体層（上層）を、該4元混晶の第3の窒化物半導体層よりも、III族の構成元素数が少ない窒化物半導体で構成されることで、良好な結晶性の積層体を実現できる。具体的には、In、Ga、Alからなる群から選択されるIII族元素の少なくとも一種、若しくは2種と、Nとの化合物で構成される窒化物半導体とすることで、良好な結晶性を実現できる。

10

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態に係る素子構造を説明する模式断面図。

図2は、本発明の一実施形態に係る素子構造を説明する模式断面図。

図3は、本発明の一実施形態に係る素子構造を模式断面図。

15 図4は、本発明の一実施形態に係る電流狭窄構造の積層過程を説明する模式断面図。

図5は、本発明の一実施形態を説明する模式断面図。

図6は、本発明の一実施形態に係る横方向成長層の成長方法を説明する模式断面図。

20 図7は、従来の発光素子の電極配置を示す上面図（平面図）、及び素子構造を説明する模式断面図。

図8は、本発明の一実施形態を説明する上面図、及びそのAA断面における模式断面図。

25 図9は、本発明の発光素子を用いた発光装置の実施形態を説明する模式断面図。

図10は、本発明の一実施形態に係る素子構造及び封止部材による封止形態を説明する模式断面図。

図11は、本発明に係る開口部と窓部との配置関係をpn接合面50において説明する模式図。

図12は、本発明の一実施形態に係る電極配置などを説明する模式的な上面図。

図13は、本発明の一実施形態を説明する模式的な斜視図。

図14は、本発明の一実施形態を説明する模式断面図及び電極配置を説明する上面図。

図15は、本発明の一実施形態を説明する模式断面図。

図16は、本発明の一実施形態を説明する模式断面図。

図17は、本発明の一実施形態に係る電極と開口部との配置を説明する模式的な斜視図。

図18は、本発明の一実施形態に係る電極と開口部との配置を説明する模式的な斜視図。

図19は、本発明の一実施形態に係る開口部と電極形状、及び配置などを説明する模式的な平面図。

図20は、本発明の一実施形態にかかる基板と凹凸部の形状を説明する模式的な斜視図。

図21は、本発明に係る実施の形態の窒化物半導体発光素子の構成を示す平面図である。

図22は、図21のA-A'線についての模式断面図。

図23は、図22の断面図の一部を拡大して示す模式断面図。

図24は、図23の一部分を示す模式断面図。

図25は、本発明の電流阻止部の製造方法を説明する模式断面図。

図26は、本発明の一実施形態を説明する平面図Aと、p側電極枝B、電流阻止マトリクス層Cを取り出した平面図と、凹凸部有する基板を用いた形態に係る平面図Dである。

図27は、図26のA-A'線についての模式断面図A、B-B'線についての模式断面図B、C-C'線についての模式断面図Cである。

図28は、本発明の一実施形態を説明する平面図Aと、そのA-A'線についての断面図B、p側電極枝（第2導電側の拡散用電極）C、電流阻止マトリクス層Dを取り出した平面図である。

図29は、従来の発光素子について説明する平面図Aと、そのA-A'線についての模式断面図である。

図30は、本発明の一実施形態に係る凹凸部を有する基板とそれを用いた素子構造における光の伝搬を説明する模式断面図である。

図31は、本発明の一実施形態に係る通常の基板とそれを用いた素子構造における光の伝搬を説明する模式断面図である。

図32は、本発明の一実施形態に係る凹凸部を有する基板と窓部、電流狭窄層と光の伝搬について説明する模式的な斜視図である。

図33は、本発明の一実施形態に係る基板の凹凸部の形状における基本単位を説明する模式的な平面図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の窒化物半導体発光素子に用いる窒化物半導体としては、GaN、AlN、もしくはInN、又はこれらの混晶であるIII-V族窒化物半導体($In_xAl_{1-x}N$ 、 $0 \leq x \leq 1$)であり、またこれに加えて、II-III族元素としてBを用いたり、V族元素としてNの一部をP、As、Sbで置換した、混晶としてもよい。また、第1導電型層、第2導電型層には、それぞれ第1導電型の窒化物半導体、第2導電型の窒化物半導体を少なくとも有している。また、窒化物半導体層に用いるn型不純物としては、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等のIV族、若しくはVI族元素を用いることができ、好ましくはSi、Ge、Snを、さらに最も好ましくはSiを用いる。また、p型不純物としては、特に限定されないが、Be、Zn、Mn、Cr、Mg、Caなどが挙げられ、好ましくはMgが用いられる。これにより、各導電型の窒化物半導体を形成し、各導電型層を構成する。

(基板)

本発明に用いる基板としては、例えば、C面、R面、及びA面のいずれかを正面とするサファイア、スピネル($MgAl_2O_4$)のような絶縁性基板、SiC(6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、窒化物半導体を成長させることが可能で

従来から知られている窒化物半導体と異なる基板材料からなる異種基板、さらには、GaN、AlNなどの窒化物半導体基板を用いることができる。好ましい異種基板としては、良好な結晶成長が可能なサファイア、スピネル、SiCが挙げられる。また、異種基板は、オフアングルしていてもよく、この場合ステップ状にオフアングルした基板を用いると窒化物半導体の成長が結晶性よく成長させるため好ましい。具体的には、サファイアC面を用いる場合には、0.1°～0.5°、好ましくは0.1°～0.2°の範囲で、オフアングルした基板、好ましくはステップ状にオフしたもの用いることが好ましい。また、異種基板上に、GaN、AlNなどの窒化物半導体を単体として取り出せる程度の厚膜で形成して、異種基板を除去して、窒化物半導体基板を得ることもできる。さらに、上記異種基板上に、発光素子となる素子構造を形成する際には、低温成長バッファ層、後述する横方向成長層、若しくはアンドープの窒化物半導体からなる下地層などを介して、結晶性を良好なものとし、これら下地層を成長基板として、素子構造を形成するとよい。

15 (発光素子)

本発明の発光素子は、図1に模式断面図として示すように、基板1上に、第1導電型層11、第2導電型層が積層された構造を有し、第2導電型層には、第1の窒化物半導体層4と第2の窒化物半導体層との間に、開口部41が設けられた電流狭窄層を有する構造である。さらに、第2導電型層12上には、図に示すように、窓部40と第1の電極20とが部分的に設けられた構造を有する。このとき、窓部40は、図2に示すように、活性層からの発光を取り出すための開口部となる。また、窓部40には図1に示すように、透光性膜30を設けることもできる。また、第1の主面と第2の主面とを有する基板1において、前記第1導電型層、活性層、第2導電型層は、第1の主面上に積層される。加えて、本発明の発光素子は、基板1の第1の主面(図1)若しくは第2の主面上(図2)に、反射層10を設ける構造として、第2導電型層表面、窓部から光りを効率よく取り出す構造とすることもできる。基板1の第1の主面上に、反射層を設ける場合には、基板と活性層との間に反射層を設け、また基板の同一面側に正負一対の電極を設ける構造においては、基板と第2導電型層との間

に反射層を設けることで、図1に示すように反射層10の上部に、第1導電型層の電極21が形成された構造とでき、電流が効率よく注入される構造とでき好ましい。

5 以上、本発明の発光素子について、その構造について説明したが、各層、膜について、以下で詳しく説明する。

本発明の発光素子は、上述したように、第1の電極を第2導電型層上に部分的に設け、第1の電極が設けられなかつた領域に、主に窓部を設ける構造とし、第2導電型層表面から効率的に光を射出させ、すなわち基板面に垂直な多くの光を取り出す構造とした面発光型の発光素子とするものである。従来の窒化物半導体の発光素子は、図7A、図中の白抜き矢印に示すように、活性層端面から射出する光が多く、基板面に垂直な方向への射出する光が少なく、また、オーミック電極20に透光性電極を用いた場合に、電極を透過する光が電極により吸収されることによる損失が起り、光の取り出し効率を低下させていた。本発明の発光素子は、図2に示すように、電流若しくはキャリアが電流狭窄層5の開口部内に部分的に注入されることにより、活性層3面内で開口部直下に選択的に発光させることができ、さらにその開口部41上部に配置された窓部40を通過して、光は基板面に垂直な方向に、図中の白抜き矢印の方向に、効率的に取り出すことが可能となる。これは、上述したように、従来同一面側において、n電極近くの活性層端面付近が強く発光して、発光効率を低下させていたが、本発明では電流狭窄層を有することで、活性層面内を流れる電流を制御でき、また発光領域を制御でき効率よく光を取り出すことが可能となる。

(窓部40)

25 本発明の発光素子において、窓部40は、第2導電型層12の上、若しくはその表面に設けられ、第1の電極20が部分的に、第2導電型層上に形成されることで、主に第1の電極20が設けられていない領域に形成される。すなわち、第2導電型層上に、選択的に、第1の電極20を設けることで、主に活性層3からの発光を外部に取り出す窓部が、第2導電型層上に設けられる。

窓部40の具体的な形態としては、図3に示すように、第2導電型層12上で、第1の電極20が部分的に設けられ、第2導電型層12が露出されること

で窓部40とすることができます。また、窓部40は、図3Bに示すように、第2導電型層12に凹部を設けても良く、図3Cに示すように、第2導電型層12に凸部を設けてもよい。また、窓部40に後述する透光性膜30を形成してもよい。

5 図12、13、14などに示すように、1つの発光素子に対して、複数の窓部40を形成することもできる。このように、複数の発光領域、電流注入領域（開口部41）を形成することで、活性層面内で、発光領域、電流注入領域を複数分布させた構造とでき、発光を分散させて、発光面から光を取り出す構造とできる。

10 また、窓部40と電流狭窄層5の開口部41との関係において、図13Bに示すように、pn接合面50に、窓部40の像、開口部41の像を投影することで、その大きさ、形状、パターンを説明することができる。このとき、pn接合面50とは、具体的には活性層表面、若しくは基板面に平行な面を指し、この面50に各形状の窓部40、開口部41をほぼ垂直に投影することで、面内にその像を得ることができる。窓部40、開口部41の形状、パターンについては、図11を用いて説明する。窓部と開口部の像は、図11AのIIに示すように、少なくとも一部が重なって形成することで発光面（第2導電型層表面）から光を取り出すことができ、好ましくはIに示すように、窓部の像（図中の点線部）が、開口部の像（実線部）のほぼ全面を覆うよう大きさで、形成することで、効率的に窓部から光を取り出すことができる。

15

20 また、本発明の発光素子において、開口部、窓部が複数設ける場合について説明すると、図11B、Cに示すように、複数の開口部（実線部）に対して、1つの窓部（点線部）を設けても良く（図11B）、1つの開口部に対して複数の窓部を設けても良く（図11C）、また1つの開口部に対して1つの窓部を設けてそれを複数設ける形態（図11A）としてもよい。すなわち、開口部に対する窓部の関係としては、1対1、多対1（n対1）、1対多（1対n）[nは2以上の整数]のいずれの形態でもよい。さらにまた、図11Eに示すように、一部において1つの開口部に対して複数の窓部、別の部分において複数の開口部に対して1つの窓部、を設ける形態、多対多（n対n）の形態としてもよい。

25

(電流狭窄層 5)

本発明の発光素子において、第1の窒化物半導体層4と第2の窒化物半導体層6との間に設ける電流狭窄層5は、面内に、開口部41(電流通過部5b)が設けられるものであり、その組成としては、 $A_1_x In_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y \leq 1$) で表される窒化物半導体層(第3の窒化物半導体層)を用いる。従来、 $AlGaN$ からなる電流狭窄層が知られているが、 $AlGaN$ の電流狭窄層は、高抵抗な層とでき、電流狭窄層とそれを挟む隣接層との間で障壁となりやすいが、一方で、 Mg などのp型不純物の拡散により、p型化されやすく、第1導電型、i型、若しくは半絶縁性とすることが困難な傾向にある。また、第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層として、クラッド層、コンタクト層には、 $Al_u Ga_{1-u} N$ ($0 < u \leq 1$) を用いる際に、 Al を含む窒化物半導体が電流狭窄層及びその隣接層とで積層された構造となり、クラックの発生及び結晶性の悪化が問題となる。しかし、本発明では、電流狭窄層に $AlInGaN$ の4元混晶を用いることでこの問題を回避でき、良好な電流狭窄層、電流阻止層として機能させることができる。これは、電流狭窄層として、 In と Al とを含む窒化物半導体を用いることで、 In を含むことにより Al を含むことによるクラックの発生を防止し、 Mg の拡散によってもp型化されにくいことにある。

このとき、第3の窒化物半導体層として好ましくは、 Al 組成比 x を In 組成比 y よりも大きくして Al リッチな層として、高抵抗、障壁の大きな層とでき好ましく、 In を含むことにより、 Al を含むことによる結晶性悪化を抑制でき、良好な結晶性の層が形成される。これは、 In は偏析して、面内に In 偏析領域が適度に分布することで、結晶性を良好にしていると考えられる。このとき、好ましい In 組成比 y としては、 $0 < y \leq 0.3$ であり、 0.3 より In 組成比を大きくすることによる In と Al の反応を抑制して結晶性を安定させることができる。さらに好ましくは、 $0.01 \leq y \leq 0.1$ の範囲とすることで、 0.01 以上とすることで、上述した In を含有することによる効果を引き出し、また 0.1 以下とすることで良好な結晶性で形成できる。もっとも好ましくは、 $0.02 \leq y \leq 0.05$ の範囲とすることで、 In を含

有効果を好適に引き出し、0.05以下とすることで、InとAlとの反応を良好に抑制して表面モフォロジーに優れた膜が形成できる。

電流狭窄層の膜厚としては、特に限定されるものではないが、具体的には、10nm以上1μm以下の範囲とし、好ましくは50nm以上200nm以下の範囲とすることで、良好な結晶性で、電流狭窄として良好に機能するものとなる。また、電流狭窄層は、図1などに示すように単一膜で形成されていても良く、図5に示すように、多層膜で形成しても良く、超格子多層膜構造とすることもできる。電流狭窄層は、図4A～4D、図25A～Dに示すように、電流狭窄層まで積層下後、マスク18を設けて(図4A, 25A)、開口部41を設け(図4B, 25B)、続いて、第2の窒化物半導体層6などを積層し(図4C, 25C)、第2導電型層の上に、開口部に対応して窓部、透光性膜30と第1の電極20を部分的に形成する(図4D, 25D)。また、別の形態として、図4E～G、図25E～Gに示すように、第1の窒化物半導体層4に凸部(電流通過部5b、開口部41)を設けて(図4E, 25E)、凹部に層5(電流狭窄部5a)を成長させて埋め込み(図4F, 25F)、第2の窒化物半導体層6を成長させる形態としてもよい。図4E～4G, 25E～Gの形態では、電流狭窄層5(電流阻止部5a)と第2の窒化物半導体層6とを異なる成長段階を経る必要があるため、図4A～4D, 25A～Dの形態に比べて、成長工程が多くなるため、好ましくは図4A～4D, 25A～Dに示すように、電流狭窄層5に開口部41を設けて第2の窒化物半導体層6を成長させる形態を用いる。

また、開口部の幅としては、例えば図1の模式断面図において、開口部の幅は、特に限定されるものではないが、具体的には50nm以上10μm以下の範囲とし、好ましくは1μm以上5μm以下の範囲とし、さらに好ましくは2μm以上3μm以下の範囲とする。これは、窒化物半導体層において、活性層上部にp型の窒化物半導体層を積層した構造とする場合において、p型層、特にその面内において、電流が広がりにくいことに起因する。これにより、開口部を10μmを超えて大きく広げても、図2の図中の矢印に示すように、p型層面内で横方向に電流が流れにくうことから、開口部周辺部に集中して電流が流れることとなり、開口部の中央部で発光の少ない構造となる傾向にあるため

である。一方で開口部を、5.0 nm未満と小さくしすぎると、活性層内に流れる電流が開口部直下の局所的な領域に集中するため、小さい電流値で素子の発光が飽和し、発光出力を高めることが困難となる傾向にあるためである。

さらに、図5に示すように、本発明の電流狭窄層において、多層膜で構成されても良く、この場合、上記第3の窒化物半導体層の条件を満たす組成による互いに組成の異なる層としても良く、第3の窒化物半導体層と異なる層を第3の窒化物半導体層の上、下の層に配置して設けてもよい。具体的には、InGaNなどのInを含む窒化物半導体層を第3の窒化物半導体層の上層、下層に設けて光吸収層とし、開口部を介して窓部から取り出される光の形状を調節したものとしても良く、AlGaNなどのAlを含む窒化物半導体層を第3の窒化物半導体層の上層、若しくは下層に設けて、エッチングストップ層（蒸発防止層）として機能させることもできる。詳しくは、Alを含む窒化物半導体層は、ほかの組成、若しくはそれよりもAl混晶比の小さい窒化物半導体層に比して、エッチングレートが小さいこと、すなわち、Al混晶比が大きいほどエッチングレートが小さくなることを利用して、AlGaN、AlNなどのAlを含む窒化物半導体層（Al高混晶層）を、それよりもAl混晶比の小さい第3の窒化物半導体層、若しくはAl混晶比の小さい別の窒化物半導体層層を上層に配置することで、Alを含む窒化物半導体層（Al高混晶層）で好適にエッチング制御できるエッチングストップ層として機能させることができ、また、Alを含む窒化物半導体層（Al高混晶層）を、それよりもAl混晶比の小さい第3の窒化物半導体層、若しくはAl混晶比の小さい別の窒化物半導体層を下層に配置することで、開口部形成時において、開口部以外の電流狭窄領域の層が蒸発されたり、エッチングに悪影響を受けるのを押さえる蒸発防止層として機能させることができる。この蒸発防止層の効果は、Alを含む窒化物半導体層（Al高混晶層）が、ほかのAl混晶比の小さい別の窒化物半導体層（Alを含まない窒化物半導体層）に比べて、蒸発温度が高くなることによるものであり、Alを含む窒化物半導体層とAlを含まない窒化物半導体層とを積層することで、この効果を最大限利用することができる。

（第1の窒化物半導体層4、第2の窒化物半導体層6）

本発明の発光素子において、第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層は、その組成などは特に限定されるものではなく、第2導電型層内において、第1の窒化物半導体層は、電流狭窄層5の下に位置し、第2の窒化物半導体層は電流狭窄層5の上に位置する層となる。このため、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とは、ほぼ同じ組成であってもよく、異なる組成であってもよい。第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とが開口部付近において、接する場合には、両者の界面は再成長界面となるため、格子整合性を考慮すると、ほぼ同じ組成の窒化物半導体とすることで、良好な再成長、接合が可能となり好ましい。また、両者で異なる組成とすることで、例えば、第1の窒化物半導体層は、第2の窒化物半導体層より活性層に近い位置に設けられるため、例えば第1の窒化物半導体層をクラッド層とし、第2の窒化物半導体層を透光性の大きい層、若しくは電極との良好なコンタクト層として、それぞれの層に異なる機能を備えた機能分離した層とできる。具体的には、クラッド層とするには、活性層、若しくは井戸層のバンドギャップエネルギーよりも大きなものとなるように、窒化物半導体を用いることであり、例えば、活性層、井戸層をInGaNとする場合には、それよりもIn混晶比の小さいInGaNなどのInを含む窒化物半導体、若しくはGaNを用いることができ、さらに大きな電位障壁を設ける場合には、AlGaNなどのAlを含む窒化物半導体層を用いると、好適に活性層内にキャリアを閉じこめることができる。コンタクト層としては、InN、GaN、AlN若しくはこれらの混晶を用いることができるが好ましくは、GaNとすることで、良好な結晶性でコンタクト層を成長させることができ電極の形成、電極との接着において優れたものとでき、InGaNなどのInを含む窒化物半導体とすればp型層において、そのほかの組成に比べて良好なp型化、高濃度のp型キャリアが得られる傾向にあり好ましく、AlGaNとするとバンドギャップエネルギーがほかの組成に比べてオーミック性に劣るものの、活性層からの発光に対して透明な層とでき、光透過性を高め、光の吸収による損失を低減させて、窓部から効率的な光の取り出しを可能とする。

また、両層において、異なる屈折率とすることで、窓部からの光の取り出し

効率も大きく変化する。具体的には、図2の白抜き矢印に示すように、窓部から基板面に垂直な方向に光りを取り出す構造であるが、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とで異なる屈折率とすることで、光の取り出しに影響を与えるものとなる。具体的には、第1の窒化物半導体層4を低屈折率とし、第2の窒化物半導体層6を高屈折率とすることで、活性層から出射した光は、開口部を通して、低屈折率側である第2の窒化物半導体層6側に効率的に光が伝搬され、また、窓部以外の領域で光が反射されても、第1の窒化物半導体層6が上方への光閉込めとして機能し、再び活性層側の下方へ光が戻ることを抑止し、効率的に素子外部へ光を取り出せる構造とできる。またこのような屈折率の関係において、屈折率の小さいAlGaNなどの窒化物半導体は、好適にクラッド層として用いることが可能な大きいバンドギャップエネルギーを有することから、第1の窒化物半導体層をクラッド層とし、それよりもバンドギャップエネルギーの小さい、GaN、InGaNを第2の窒化物半導体層として、コンタクト層とすれば良好なオーミック接触が実現される積層構造となる。また、光の上方への取り出しにおいて、第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層を伝搬することとなるが、このとき、Inを含む窒化物半導体、例えばInGaNを用いると、光の吸収・損失がほかのInを含まない窒化物半導体に比較して、大きくなる傾向にあることから、好ましくは窓部直下の層にInを含む窒化物半導体を用いないことが好ましく、特に開口部から第2の窒化物半導体層を伝搬する光において損失が大きな問題となることから、好ましくはInを含む窒化物半導体を第2の窒化物半導体層に用いないことが好ましい。

また、これら電流狭窄層の上層、下層として位置する第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層は、電流狭窄層5、特に第3の窒化物半導体層との関係にも影響される。具体的には、電流狭窄層となる第3の窒化物半導体層は、その成長の下地層となる第1の窒化物半導体層との間で結晶性が影響され、また再成長層となる第2の窒化物半導体層は、再成長面となる第3の窒化物半導体層の結晶性により影響されることにある。具体的には、上記好ましい形態であるInAlGaNの4元混晶からなる第3の窒化物半導体層において、良好な下地層としては、InGaN、AlGaNなどの3元混晶、若しくはGaNの

2元混晶を第1の窒化物半導体層に用いることが好ましい。これは、上述して
ように、4元混晶の成長において、構成元素同士、特にInとAlとが反応す
ることで良好な成長が阻害され、良好な結晶性でもって成膜されない傾向にあ
ることに起因し、特に、下地層（第1の窒化物半導体層）を4元混晶とし、第
5 3の窒化物半導体層を4元混晶とすると、連続して4元混晶を積層すること
なるため、3元混晶、GaNなどの2元混晶を下地層とする場合に比べて、電
流狭窄層5の結晶性が悪化する傾向にあるためである。電流狭窄層5が結晶性
よく形成されないと、リーク電流などの原因となり良好な電流阻止層としての
役割を果たせない傾向にあり好ましくない。このため、好ましくは下地層とな
る第1の窒化物半導体層をInGaN、AlGaNなどの3元混晶、若しくは
10 GaNの2元混晶とすることであり、GaNであるとこれらの組成の中でもつ
とも結晶性良く形成でき、AlGaNであると活性層、井戸層との間で大きな
バンドギャップエネルギー差を形成できクラッド層として良好に機能し、In
GaNなどのInを含む窒化物半導体とすることで、ほかの組成に比べて弾力
性に富む層とでき、ほかの組成、特にAlを含む窒化物半導体に近接して配置
15 されることで、バッファ層として機能させることができる。このような下地層
としての第1の窒化物半導体層は、電流狭窄層5、特に第3の窒化物半導体層
に接して形成されることでもっとも効果をそうすることとなる。このため、こ
れら下地層を、電流狭窄層5の一部として、4元混晶の第3の窒化物半導体層
20 のしたに配置しても良く、具体的には、図5に示すように多層膜からなる電流
狭窄層において、下層5Aを下地層とし、上層5Bを第3の窒化物半導体層と
して、下地層を効果的に積層した電流狭窄層とできることはいうまでもない。
また、電流狭窄層の上層となる第2の窒化物半導体層については、電流狭窄層
25 を再成長表面、若しくは下地層とするため、上述した4元混晶を連続して積層
することと同様な理由から、第2の窒化物半導体層をInGaN、AlGaNなどの3元
混晶、若しくはGaNの2元混晶とすることが好ましく、これにより、電流狭窄層上に良好な窒化物半導体の層を成長させることが可能となる。
InGaN、GaNについては、上記第1の窒化物半導体層と同様な理由によ
り、好ましく、AlGaNを用いることについては、Alを含む窒化物半導体

は、ほかの組成に比べてピット低減効果に優れ、良好な積層構造表面を形成し、光の取り出しに優れた窓部表面を形成でき、電極 20 の形成に好適な表面平坦性を有する層とでき、一方で、光の伝搬において、光の損失の少ない層とでき好ましい。

5 以上、説明したように、電流狭窄層、特に 4 元混晶からなる第 3 の窒化物半導体層の下層、上層となる第 1 の窒化物半導体層、第 2 の窒化物半導体層において、第 3 の窒化物半導体層よりも構成元素 (III 族元素) の少ない混晶の窒化物半導体とすること、すなわち、3 元混晶 (InGaN、AlGaN)、2 元混晶 (GaN、AlN) とすることで、各層が良好な結晶性で成長でき、また各層の機能、具体的には、第 1 の窒化物半導体層においてはクラッド層、第 2 の窒化物半導体層においては光伝搬層、コンタクト層として機能できる構造となる。

10 さらにまた、電流狭窄層 5 の上層である第 2 の窒化物半導体層 6 が、超格子多層膜で構成されること、若しくは少なくとも一部に超格子多層膜を設けることで、図 2 に示す矢印のように、横方向、基板面の面内方向へのキャリアの移動度を高め、実質的に第 2 の窒化物半導体層 6 の抵抗値を下げ、素子の抵抗値、動作電圧を下げることができる。これは、超格子多層膜を電流狭窄層の上に設けることで、2 次元電子ガスにより、横方向にキャリアの走行による移動が促進されると考えられる。具体的には変調ドープにより高不純物濃度層と、低不純物濃度層との間に二次元電子ガスができ、この二次元電子ガスの影響により抵抗率が低下すると推察される。例えば、n 型不純物がドープされたバンドギャップの大きい窒化物半導体層と、バンドギャップが小さいノンドープの窒化物半導体層とを積層した歪み超格子層では、n 型不純物を添加した層と、ノンドープの層とのヘテロ接合界面で、障壁層側が空乏化し、バンドギャップの小さい層側の厚さ前後の界面に電子 (二次元電子ガス) が蓄積する。この二次元電子ガスがバンドギャップの小さい側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、歪み超格子の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下する。なお、超格子層に n 型不純物をドープする場合、バンドギャップエネルギーが大きい第 1 の窒化物半導体層側に多くドープすることが望まし

い。好ましいドープ量としては、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、第2の窒化物半導体層との差が少なくなつて、キャリア濃度の大きい層が得られにくく傾向にあり、また $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ よりも多いと、素子自体のリーク電流が多くなりやすい傾向にある。超格子多層膜の各層の膜厚としては、具体的には 100 \AA 以下とすることであり、好ましくは 75 \AA 以下とすることで臨界膜厚以下とでき、さらに好ましくは 50 \AA 以下とすることで、積層数、積層対数を多くしても、すなわち、超格子多層膜を厚くしても、結晶性を良好なものとでき好ましい。超格子多層膜の組成、積層対などは限定されるものではなく、組成の異なる2層以上を、交互に、若しくは周期的に積層すればよく、例えばAlを含む窒化物半導体(A層)とそれとは異なる組成の窒化物半導体(B層)とを有する多層膜、Alを含む窒化物半導体(A層)とInを含む窒化物半導体(B層)とを有する多層膜、などがある。具体的には、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) / $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$)、このときクラッド層として機能させるには、 $x > 0$ としてバンドギャップエネルギーを大きくするとよい。

また、第2の窒化物半導体層は、電流狭窄層5の開口部を埋め込むように成長させる場合において、適度に不純物がドープされていることが好ましい。これは、埋込層として良好な結晶性を得るには、横方向への成長が好適に成される必要があるが、不純物がドープされることで、この作用を好適に発現できる傾向にある。具体的な不純物濃度としては、第2導電型の不純物(ドーパント)を、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることで、好ましくは、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上であると更に埋め込み成長が良好となり好ましい。不純物濃度の上限としては、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、不純物ドープによる結晶性悪化を抑えられ、更に好ましくは、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることで結晶性を良好に保持して横方向成長を促進でできる。この時、他の層と不純物量の比較において、不純物濃度の上限は、第2導電型層の電極形成層(コンタクト層)を第2の窒化物半導体を上に設ける場合には、その電極形成層よりも不純物濃度を小さくすることで、素子特性が向上し好ましい。また、第1の窒化物半導体層との不純物量の比較において、ほぼ同じ濃

度としても良く、第2の窒化物半導体層の不純物濃度を小さくしても良いが、好ましくは、第1の窒化物半導体層の不純物濃度 c_1 に比して、第2の窒化物半導体層の不純物濃度 c_2 を高濃度 ($c_2 \geq c_1$ 、好ましくは $c_2 > c_1$) として、低濃度の第1の窒化物半導体層が結晶性良好な電流狭窄層の下地層として機能して電流狭窄層の結晶性を向上させ、また電流狭窄層への不純物拡散などを低く抑え、一方高濃度の第2の窒化物半導体層では埋込層として好適な成長を可能とし結晶性が向上する。また、電流狭窄層には上述したように、近隣の第1、2の窒化物半導体層から、主に下層である第1の窒化物半導体層から、の第2導電型の不純物拡散 (成長時のコンタミネーション) により、不純物がドープされるが、この不純物濃度よりも高濃度で第2の窒化物半導体層にはドープされる傾向にある。またこの時、上述したように、第3の窒化物半導体層への第1導電型不純物ドープ量は少ない方がその上の埋込層の成長において好ましいため、第3の窒化物半導体層の第2導電型不純物濃度よりも小さい濃度で、第1導電型の不純物が第3の窒化物半導体層にドープされることが好ましく、更に好ましくは、第3の窒化物半導体層内で、第2導電型の不純物濃度よりも第1導電型不純物濃度が小さいことが好ましい。

(透光性膜30)

本発明において、透光性膜は、下記の条件式を満たすものを用いることができる。

$$d_2 = \lambda / (4 n_2), \text{ 但し } n_2 = (n_1 n_3)^{1/2}$$

このとき、図10を用いて説明すると、第2の窒化物半導体層6、透光性膜30、封止部材 (若しくは気体封止) 100の屈折率をそれぞれ、 n_1 、 n_2 、 n_3 とし、膜厚をそれぞれ d_1 、 d_2 、 d_3 とする。

また、透光性膜の材料としては、特に限定されず、後述する反射層と同様の材料が用いられ、好ましくは上記絶縁膜、誘電体膜が用いられる。また、図1、15、16において、凸部51の側面を覆うように、これら絶縁膜、誘電体膜からなる透光性膜を形成することで、正負一対の電極間を絶縁する短絡防止層として機能させることもできる。このように、活性層側面、すなわち発光側面

において透光性膜を形成する場合には、上記第2の窒化物半導体層を活性層5に置き換えて適用することができる。本発明の透光性膜はこれに限定されず、光を透過させる膜であればよいが、好ましくは上記式を満たす膜を設けることが好ましい。

5 このように、透光性膜を形成することで、窓部から出射する光を、損失することなく効率的に素子外部に取り出すことができるため、光取り出し効率を高め、さらにはこのような発光素子を用いた発光装置において、発光出力に優れたものとなる。また、このような、透光性膜は、図9に示すような、発光素子200を用いた様々な形態の発光装置において、図9A、Bに示すような透光性樹脂を封止部材100とする場合よりも、図9Cに示すように、CANタイプのように、気体により気密封入された封止部材100cを用いた発光素子において、優れた発光効率となる傾向にあり好ましい。ここで、図中の各部位は、封止部材100、リード電極501、反射部（外部反射鏡）502、ワイヤ503、内部電極504、外部電極505、基体（506, 507）、筐体508、光取り出し窓509、発光素子チップ200を示している。

また、透光性膜との関係において、透光性膜を設けずに、図3Aに示すように、窓部において、電極20を開口させる形状として、開口部を窓部とする場合には、上記条件式において、第1の窒化物半導体層4を第2の窒化物半導体層とし、透光性膜を第2の窒化物半導体層と置換して用いることもできる。すなわち、第3の窒化物半導体層5を含む電流狭窄層の開口部から出射する光を透過する膜として、第2の窒化物半導体層を設けることもできる。このとき、電流狭窄層の開口部と窓部との間に介在する窒化物半導体層を透光性膜となるように上記条件式に従って形成することであり、その間に多層膜が形成されるときには、窓部における最上層とその下部の層との間で、上記条件式を満たすように、最上層を透光性膜とする。具体的には、図14Bの模式断面図に示すように、開口部41の上に第2の窒化物半導体層6、さらに最上層（キャップ層）としてコンタクト層7を有する場合には、コンタクト層7を透光性膜とし、その下部に位置する第2の窒化物半導体層6との関係において、透光性膜の上記条件式を満たすように形成する。また、これを応用して、電極20とオーミ

ックコンタクトするコンタクト層7と窓部における最上層とを異なる組成とする構造を適用することもできる。具体的には、図3B、3Cにみるように、活性層からの距離が窓部40の最上層と、電極20に接するコンタクト層とで異なるものである場合に、窓部40における凸部、若しくは凹部において多層膜構造とし、電極20と接する領域における最上層と、窓部における最上層を異なる層とすることで可能となる。具体的な積層構造としては、最上層(1)と、その下に位置する層(2)とを積層した多層膜として、電極を形成する窓部以外の領域を層(2)が露出する深さで一部除去することにより、図3Cに示すような凸部の窓部40を形成し、窓部において最上層が層(1)となり、電極20の形成表面が除去した際の露出面となる下層(2)とした構造とする。また図3Bに示すような凹部とする場合には、下層(2)が露出する深さで窓部となる領域を一部除去することで、窓部において露出層(最上層)が下層(2)となり、電極20の形成表面(最上層)は、上層(1)となる構造とできる。また、図3Aに示すように、電極20の形成表面が窓部にほぼ平坦な表面とする場合においても、電流狭窄層5の開口部による凹部が上層に引き継がれて、最上層を積層した段階で、開口部直上の最上層が凹んだ形状で積層すれば、その最上層における凹部をほぼ平坦な表面となるように、凹部以外の領域を一部除去することで、図3Aのように、ほぼ平坦な積層表面において、上述した上層(1)が窓部40の最上層とし、電極20の形成表面は、上記一部除去により露出した下層(2)を最上層とした積層構造とできる。このとき、電極20の形成表面となる最上層は、コンタクト層とでき、コンタクト層に優れた半導体を用いて、窓部においては、電極20の形成表面と異なる組成の半導体からなる層を最上層とし、光の取り出しに優れた組成の窒化物半導体を用いることができる。

25 (反射層10)

本発明の発光素子に用いる発光素子としては、下記の半導体多層膜、誘電体膜(多層膜)を用いることができる。また、その他に基板裏面側に、反射金属層を設けて反射層とすることもでき、基板が導電型層として機能する場合には裏面側の電極を兼ねることもできる。

(半導体多層膜)

本発明の発光素子において、反射層10として、具体的には $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{N}$ ($0 \leq \alpha \leq 1$) からなる組成の異なる層を複数積層した多層膜層を形成する。このとき、各層の膜厚dを、 $d = \lambda / (4n)$ とすることである。具体的には、
5 $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{N}$ ($0 < \alpha \leq 1$) からなるA層と、 $\text{Al}_\beta\text{Ga}_{1-\beta}\text{N}$ ($0 \leq \beta < 1$ 、 $\alpha > \beta$) からなるB層と、それぞれ少なくとも1層以上積層した多層膜として、低屈折率のA層と高屈折率のB層10bとが交互に積層された構造とする。さらに好ましくは、A層若しくはB層のいずれか一方を2層以上積層することで、良好な反射膜として機能する。このとき、A、B層と異なる組成の層を設けてもよい。図1に示すように、A層10a、B層10bを交互に積層した構造とし、A、B層を対として1対以上、好ましくは2対以上積層した構造とする。

また、各層の組成としては、Al組成比の差 ($\alpha - \beta$) を大きくすることで、
15 A層、B層の屈折率差を大きくすることができ、高反射率の反射層が形成される。具体的には、Al組成比の差 ($\alpha - \beta$) を、0.3以上とすることで、反射層により反射され、窓部から良好に光が取り出され、好ましくは0.5以上とすることで、高反射率の反射層が形成され、窓部から上方に出射する光が効率よく取り出すことが可能となる。また、B層にAl組成比βを $\beta = 0$ とした
20 GaNを用いることが好ましい。A層/B層を $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_\beta\text{N}/\text{Al}_\alpha\text{Ga}_\beta\text{N}$ とすると、Alを含む窒化物半導体によるクラックの発生が問題となるが、B層をGaNとして、A層、B層を交互に積層することで、B層が介在することで、A層による結晶性悪化を抑制することが可能となり、良好な結晶性で反射層を形成できる。

また、半導体多層膜層の各層に、第1導電型の不純物を添加して、第1導電型の層として、第1導電型層内部に反射層を設けてもよい。しかし、不純物をドープすると結晶性が悪化するため、各層をアンドープとして、第1導電型層と基板との間、若しくは、図1に示すように、第1導電型層の電極21が形成された層2と基板との間に設けることで、その上に設ける素子構造を結晶性良く形成することができる。また、反射層の一部を第1導電型層内に設けること、

反射層の一部に不純物をドープすることもできる。

(誘電体材料)

本発明において、反射層を誘電体膜で形成する場合には、単一膜、多層膜のどちらでも良いが、好ましくは多層膜で構成することで高い反射率を得ることができ、更に多層膜の各膜厚を $d = \lambda / (4n)$ 、として、屈折率の異なる材料を交互に積層した多層膜を用いることで、良好な反射層が形成される。この時、反射層は、下記材料の単一膜で形成しても良いが、好ましくは上記多層膜とすることで高い反射率が得られる。反射層に用いる材料としては、高屈折率の材料として TiO_2 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 Sc_2O_3 、 Y_2O_3 、 MgO 、 Al_2O_3 、 Si_3N_4 、 ThO_2 の内の少なくとも一種類が選択でき、低屈折率の材料として SiO_2 、 ThF_4 、 LaF_3 、 MgF_2 、 LiF 、 NaF 、 Na_3AlF_6 の内の少なくとも一種類が選択でき、これら高屈折率の材料と、低屈折率の材料とを適宜組み合わせて、多層膜層とした反射層を形成する。好ましくは、 SiO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 ZnO 、 Al_2O_3 、 MgO 、ポリイミドを単一膜、好ましくは多層膜、更に好ましくは上記条件式を満たす膜厚で形成する。

また反射層は、上記膜厚に限定されず、各層を $1/4$ の波長から変化させたものであっても反射率が劣ることとなるが、反射層として機能させることができる。また、反射層の材料は、上記に限らず、 Au 、 Al 、 Pt 、 Rh などの金属による反射膜により反射層を形成してもよい。

(電極)

本発明の発光素子において、第2導電型層上に部分的に設けられる第1の電極 20 は、第2導電型層と電気的に接続され、主にオームикコンタクトさせる電極であり、透光性電極としても良く、不透光性の電極としてもよい。透光性電極とすると、窓部から主に光を取り出し、第1の電極 20 からもそこを透過させて取り出し、第2導電型層の表面全体から面発光する発光素子とできる。一方で、第1の電極 20 を厚膜で形成して、光の透過率をきわめて低くした、若しくは不透光の電極とした場合には、窓部から選択的に光を取り出す発光素子とでき、微少な点光源、アレイ光源とでき、図 8 に示すように、窓部 20 を1列に配置して、インライン光源とすることもできる。第2の電極 22 は、図

13 などに示すように、第1の電極20上に設けられ、ワイヤーボンディングさせるパッド電極となる。また、第3の電極23は、第1の電極20を透光性電極とした場合において、電流を拡散させるものとなる。透光性電極は抵抗率が大きくなるため、第1の電極20内で電流が広がりにくくなるが、第5 2の電極に電気的に接続する第3の電極を、第1の電極20の上に、延在させて部分的に形成することで、第1の電極面内に電流の流れを広げることができる。

各電極について、別の見方をすると、オーミック接触用である第1の電極20は、光取り出し口となる窓部と電流注入部となる電極形成面とを区分けするものとなり、第1の電極20は、窓部、若しくは窓部を伝搬して光が出射する場合よりも、光の透過率を低くすることが好ましい。これは、本発明の発光素子が主に窓部から光を取り出すことを目的としていることからもわかるように、第1の電極20が透光性電極である場合に、電極を投下して取り出される光よりも、窓部からの光が優先されるように、窓部よりも光の透過率を小さくした第1の電極20を設けることでこのような発光素子が得られる。ここで、第1の電極20は、透光性電極20としてもよく、膜厚を大きくして、シート抵抗を低減した不透光膜であってもよいことはいうまでもない。

また、第2の電極22は、図13の斜視図、図14A、図8A、図12の上面図（電極配置図）に示すように、主に、ワイヤーボンディングの際のボンディング用のパッド電極となるものであり、ボールとの接着性、素子動作時の耐久性に優れた電極とすることが好ましい。また、この第2の電極22は、ボールが形成される大きさとなるように、 $50 \mu m \phi$ 以上の直径、若しくは辺の長さの矩形状として形成すればよい。

さらに、本発明の発光素子において、特に、窓部を複数有する場合において、第3の電極23を設けることが好ましい。第3の電極23は、図12B、12Cに示すように、第1の電極20と第2の電極22とを電気的に接続し、また第1の電極20に比べてシート抵抗の小さい電極として、第2の電極22からの電流を効率的に第1の電極20に伝導させて、第2導電型層表面7sの面内に広がった電流の注入を可能とすることができる。これは、第1の電極20を

透光性電極とするとシート抵抗が高くなり、面内方向に電流が広げるのが困難となることを改善するものであり、より低抵抗な第3の電極23を介して、電流を第1の電極20に伝導させることで、良好な電流の注入、拡散を実現して、発光効率に優れた発光素子とできる。このような低抵抗な第3の電極23の形状は特に限定されるものではなく、具体的には、窓部、若しくは開口部の周りを覆うように、若しくは開口部、窓部の長手方向に沿って、好ましくは図12B、12Cに示すように両側に配置して形成することが好ましい。これは、電流狭窄層により、電流が選択的に形成された開口部に集中的に電流が注入されるが、この際に、開口部、若しくは窓部を囲むように、その周縁付近、若しくは窓部、開口部の開口形状に沿って配線されることで、電流狭窄域となる開口部に電流を効率的に注入できるからである。以上の第3の電極23の配置に関する説明は、その一実施形態を説明しただけであり、第3の電極23の形状、パターンを限定するものではなく、格子状、ドット状、島状、1つから複数に分岐した枝状に配置してもよいことはいうまでもない。また、第3の電極23は、図3などに示すように、第1の電極20の上に形成される場合に限定されるものではなく、第2導電型層表面7sに第3の電極23を形成した後、それを覆うように第1の電極20を形成しても、上述した作用が得られるため、このような形態も含まれるものであり、またボンディング用の電極である第2の電極22と同時に形成し、すなわち、第2の電極22を第1の電極20上に延長させて、配線させた構造としてもよいことはいうまでもない。さらに、開口部、窓部の周縁部近傍を囲むように配置することを説明したが、これら閉口した領域を囲む形態において、その全てを囲むことを指すものではなく、少なくとも一部の周縁部に形成されることが好ましく、開口部、窓部が長手方向を有する場合には、長手方向に沿うように、ほぼ平行して設けられれば、長手方向に沿って電流が効率的に注入されるため、それでも十分に電流拡散機能を果たすことができる。具体的には、図12Bと12Cの違いであり、窓部、開口部をほぼ全部を囲むように、拡散用の第3の電極23を設けても良く(図12B)、長手方向に沿って第3の電極23を設けても(図12C)、ほぼ同様に優れた電流拡散が実現される。

以上、第2導電型層に設ける電極について述べたが、次に、第1導電型層に設ける電極についても述べる。本願明細書に添付の図面は、全て基板の同一面側に正負一対の電極が設けられた、いわゆるフリップチップタイプの素子を示しているが、本発明の発光素子は、これに限らず、基板を挿持するように、すなわち基板を挟んで正負一対の電極を対向位置した構造を用いてもよい。具体的には、図3Bにおいて、反射層10を一方の電極として、基板の表面側に設けられた素子構造の上に形成された電極と対向配置した構造をとることもできる。正負一対の電極を対向配置することで、電流の流れを基板面に垂直なものとでき好ましい。

基板の同一面側に正負一対の電極を設ける場合における第1導電型層の電極21、24について以下説明する。基板の同一面側に正負一対の電極を設ける場合には、図8、図12～16に示すように、pn接合部、活性層を有する凸部領域51を囲むように電極21を形成することが好ましい。ここで、電極21は主に第1導電型層とオーム接觸用の電極であり、電極24はワイヤーボンディング用のパッド電極である。これらの図に示すように、凸部51をほぼ全領域を囲むように形成することで、正負電極間で、電流の流れを凸部51の全域において、均等に、かつ拡散させて流すことができる事となる。図14に示すように、凸部51をほぼ全領域を囲む形態であっても良く、一部が開口して、凸部51の周りを囲むように図13～16に示すように、形成してもよい。また、図12Bに示すように、長手方向を有する矩形状、短冊状の凸部51が複数結合したような形状においては、上記第3の電極23と同様に、長手方向に沿うように、電極21を設けることで、長手領域、特に長手領域の開口部、窓部を有する場合には、その長手方向に沿うように、凸部51に近接して配置することで、長手領域の開口部、窓部下部に効率的に電流が拡散、注入される形状となる。

また、各ボンディング用の電極22、24の配置としては、図14に示すように、矩形状の素子チップに対して、対角線上に配置して、それぞれの電極を一方の角近傍に配置する形態としても良く、また矩形状のチップに対して、その一辺に沿って近接して配置してもよい。これらの電極配置とすることで、発

光面積を大きくとることができ、また一边に沿って電極 22, 24 を配置した場合には、チップのボンディング、電極へのワイヤボンディングの際に、チップの一方へ偏って電極が設けられているため、ワイヤボンディングが容易となり好ましい。このとき、素子チップの形状は矩形状に限定されるものではなく、菱形状、台形状、平行四辺形状、多角形状であってもよい。また、第2の電極 22 は、図に示すように、凸部 51 上に設けても良く、絶縁膜などを介して、第2導電型層の電極形成面 2s 上に延在させて、電極 21, 24 とほぼ同じ高さに設けることもできる。

また、以上の電極にもちいられる材料としては、従来知られた窒化物半導体の電極材料、積層構造を用いることができる。具体的な電極材料としては、Ni、Au、W、Pt、Ti、Rh、Al、Ag、Ir などがある。

(封止部材 [透光性部材])

LEDなどの発光素子チップ 200 は、通常、図 9 に示すように、封止部材 100 によって、封止され、パッケージングされた発光装置として使用される。このため、図 10 に示すように、窓部 40 と封止部材 100 との屈折率、若しくは透光性膜と封止部材との屈折率により発光装置における光取出し効率を高めることができる。

具体的には、透光性膜の材料と封止部材の材料、若しくは窓部に第2導電型層が露出される場合には露出層の材料と封止部材の材料、との関係により、適宜各材料及び屈折率を決定することで、発光装置の発光出力を高めることができる。

封止部材は、発光素子チップ 200 からの光を透過させる透光性材料からなる場合が多く、例えば図 9A に示すランプ型の発光装置において、封止部材 (モールド部材) 100 には、透光性樹脂としてエポキシ樹脂 (1.5 ~ 1.6)、シリコーン樹脂 (1.4 ~ 1.5) などが一般的に用いられる (括弧内は屈折率)。そのほかに、ポリイミド樹脂、またはフィラーなどの拡散材、蛍光体、顔料などの粒子、ミクロンオーダー、サブミクロンオーダーの粒子などを含む封止部材を部分的に用いることもできる。

(活性層)

本発明において、活性層3としては、好ましくはInを含む窒化物半導体を少なくとも有するものであり、 $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$ ($0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 < x + y \leq 1$) で表される窒化物半導体が用いられる。具体的には $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) を用いることで、紫外域から可視光域(青色～赤色)までの良好な発光を可能とする活性層、井戸層となる1層の発光層を少なくとも有することである。また、活性層は、量子井戸構造とすることで、良好な発光効率の発光素子が得られ、単一量子井戸構造であっても良く、多重量子井戸構造であっても良い。このとき、前記Inを含む窒化物半導体は、量子井戸構造の井戸層、障壁層の少なくとも一方であっても良く、両方の層であっても良く、好ましくは井戸層に少なくとも用いることである。一方障壁層は、発光層でないため、特にInを含む窒化物半導体に限らず、具体的な組成としては、 $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x + y \leq 1$) であり、好ましくは $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$)、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) を用いることである。

本発明の発光素子において、複数の電流狭窄層5a (105a) の開口部41 (通過部5b、105b) を有する形態では、電流が選択的に注入される複数の発光部3aに電流が集中するために、電流密度が高くなる傾向があり、この場合、発光層(井戸層)に用いるInを含む窒化物半導体のIn組成xは、好ましくは $0 < x \leq 0.3$ とすると、実施例に示すように出力に優れた発光素子が得られる。これは、In混晶比xが大きくなると、結晶の偏析などにより結晶性が面内で一様ではなく良好な領域が面内で散在する結晶となり、電流密度増加において、電流-出力特性のリニアリティーが乏しく、飽和しやすい傾向にあるが、上記In組成範囲では電流密度増加における電流-出力特性のリニアリティーに優れて、高出力化において有利となる傾向にあるためである。

このときの発光波長は、紫外域～青色領域であり、360nm～470nmの範囲であり、さらに好ましくは、視感度の低い420nmの近紫外域以下で発光する波長(360nm～420nm)とすることで良好な発光が得られる。このときのInGaN発光層(井戸層)のIn混晶比xとしては、 $0 < x \leq 0.1$ 程度である。また、上述したように、Inに加えてAlを含む窒化物半導体

で発光層（井戸層）に用いる場合には、さらに短波長域での発光も可能となる。

（下地層 1 2）

基板として、異種基板を用いる場合には、図1などに示すように、第1導電型層11、活性層3、第2導電型層12が積層された素子構造と、基板との間に、下地層12として、低温成長バッファ層を用いると、結晶性を良好なものとできる。低温成長バッファ層として具体的には、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$) を用いることができる。

また、基板上に設ける下地層として、その他に、ELOG(Epitaxially Laterally Overgrowth)成長させた窒化物半導体、横方向成長層60を用いると結晶性が良好な成長基板が得られる。ELOG層の具体例としては、図6に示すように、基板上に、窒化物半導体層13aを成長させ、その表面に窒化物半導体の成長が困難な保護膜を設けるなどして形成したマスク18領域と、窒化物半導体を成長させる非マスク領域（開口部）を、ストライプ状に設け、その非マスク領域から窒化物半導体を成長させることで、膜厚方向への成長に加えて、横方向への成長が成されることにより（図6B）、マスク領域の上部にも窒化物半導体が成長して成膜された層13bとなる。その他の形態では、異種基板上に成長させた窒化物半導体層に開口部を設け、その開口部側面から横方向への成長がなされて、成膜される層でもよい。

このように、横方向成長（ELOG）による窒化物半導体、若しくはその上に成長させた窒化物半導体層13bの特徴としては、結晶性の分布を呈した表面を有するものであり、図6に示すように、結晶性の良い領域Aと、結晶性の悪い領域Bと、が設けられるものである。この時、結晶性の良い領域A、悪い領域Bは、主に転位密度を評価することにより決定されるものであり、結晶性の良い領域Aの転位密度／結晶性の悪い領域Bの転位密度の比としては、下地層13aの結晶性にもよるが、1/10以上、好ましくは1/100以上の転位密度の違いが現れる。具体的には、結晶性の良い領域Aにおける転位密度は、 $1 \times 10^{10}/cm^2$ 以下であり、好ましくは $1 \times 10^8/cm^2$ 以下となるものであり、また結晶性の悪い領域Bにおける転位密度は、 $1 \times 10^{10}/cm^2$ 以上となり、欠陥が多い場合には $1 \times 10^{13}/cm^2$ 以上となる。さらに、結晶性の

良い領域Aは、好ましい欠陥密度としては、 $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以上 $1 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 以下の範囲程度まで、結晶性が改善される。このような貫通転位の面内分布は、図6Bに示すように横方向成長時に、窒化物半導体13b内の貫通転位が横方向に伸びて、膜厚方向に貫通転位が伝搬しないことで、横方向に成長した領域Aにおいて貫通転位が低減された表面となる。図6ではハッチングを施して低欠陥領域Aを締めするものであり、図6A～6Cは、横方向成長層13bの成長形態を説明する模式断面図であり、図6D、6Eは、横方向成長層13b(60)表面若しくは、pn接合面50内で、低欠陥領域Aと、高欠陥領域Bとが分布する様子を示すものである。この低欠陥領域A内に上記電流狭窄層の開口部を設けることで、結晶性の良好な領域の活性層内に選択的に電流が注入され、高出力、優れた素子寿命、高発光効率の発光素子とできる。低欠陥領域Aの像と、開口部の像との関係は、上述した窓部の像と開口部の像との関係において、窓部を低欠陥領域Aに置き換えた関係において発光素子とすることが好ましい。

ここで、横方向成長時のマスク形状、すなわち基板面内における横方向成長領域、マスクを用いる場合にはマスク形状、としては、特に限定されず、ストライプ状、ドット状、格子状、六角形状（窒化物半導体の六方晶系に近似した面方位にほぼ一致した）、若しくはこれらの組み合わせなどあらゆる形状を適応することができる。また、マスクを用いない場合には、凸部若しくは島状の窒化物半導体を形成し、そこから成長させることで、横方向成長を発現させ、横方向成長を伴った成膜がなされる。

(凸部 (pn接合部を含む) 51)

本発明の別の実施形態として、図12～16に示すように、基板の同一面側に、正負一対の電極を設ける構造においては、pn接合部、具体的には活性層、第2導電型層を有する凸部51が、基板面に対して部分的に設けられたいわゆるフリップチップタイプの素子がある。凸部51の形態について、具体的に説明すると、図13に示すように、ほぼ矩形状であっても良く、矩形状で一部（角）がかけて、ボンディング用電極24を設ける領域が形成された凸部形状51（図14A）に示すような形状であってもよい。好ましくは、図12Cに示すよう

に、矩形領域、短冊状の凸部 5 1 を複数結合したような形状とすることが好ましい。これは、上記電極の説明でも述べたように、各導電型層の電極を開口部、窓部の周囲、若しくは長手方向に沿って、電極を形成することで、各電極間を流れる電流を $p\ n$ 接合面内に分散させて、開口部に集中させることができることによるものであり、各導電型層の電極を凸部領域 5 1 の側面、図 1 2 の上面図において、凸部 5 1 の辺の長さを長くすることで、各導電型層の電極を近接して長い領域でもって配置することが可能となり、正負電極間の距離を小さくし、大電流下での発光特性に優れる発光素子が得られる。具体的な形状としては、図 1 2 C の発光観測面側からみた上面図において、凸部領域 5 1 を、ストライプ状、矩形状などの突出部を設け（図中の窓部が設けられた領域）、長手方向に伸びた突出領域を形成することが電極の配置、電流の流れの関係から好ましく、図に示すように、短冊状の領域、ストライプ状の領域を接合した凸部 5 1 としても良く、図 8 に示すように、各ストライプ状の凸部 5 1 を複数独立して、すなわち、 $p\ n$ 接合部（活性層）を、分離して設けて、電極、若しくはそれに電気的に接合する配線でもって電気的に接合した形状であってもよい。このように、凸部 5 1 の突出した領域において、好ましくはストライプ状の領域において、それに長手方向をほぼ平行にする窓部、開口部を設けることにより、上記電流注入、発光の関係から好ましい発光素子が得られ好ましい。また、図 1 2 C に示すように、ストライプ状の突出部を結合する領域にも、窓部、開口部を設ける形状であってもよい。なぜなら、図からわかるように、凸部 5 1 は、ストライプ状の領域が複数結合した形状となっているため、結合部においても（図中の窓部にほぼ垂直な方向に伸びる凸部領域 5 1）、ストライプ状となっているためである。

図 8 は、上述したように、凸部 5 1 が長手方向を有するストライプ状の領域が、活性層が分離されて複数設けられる形態を示す例である。ここで、図中の短い矢印で示す領域を 1 つの発光素子としても良く、長い矢印で示す領域を 1 つの素子としてもよい。また上述したように、 $p\ n$ 接合部が分離されて、互いに独立した複数の凸部 5 1 を導電性材料により電気的に接続して（配線して）接合した発光素子とすることもできる。

(電流狭窄層の開口部と窓部と凸部 5 1)

上述したように、窓部と開口部は、p n接合面の投影面において、それらの投影像が一部重なるように形成することを説明したが、これに上記凸部領域 5 1を加えた3者の関係について以下説明する。図1は、図1 2におけるAA切断面の一部（凸部 5 1の一つのストライプ状の突出部）、若しくはBB切断面を模式的に示す断面図であり、図1 5は図1と異なる実施形態を説明するものであり、図1 6は、これら切断面において、開口部、若しくは窓部が複数も受けられる様子を示すものである。図1、図1 6は凸部 5 1の領域、若しくは凸部 5 1のストライプ状の突出部においてストライプ方向に垂直な切断面での開口部と窓部との関係を示すものである。

(蛍光体)

本発明の発光素子と、発光素子からの発光スペクトルの少なくとも一部を変換する蛍光物質とを有する発光装置とすることもできる。本発明の好ましい発光素子の発光波長と蛍光物質との組み合わせは、上述したように主発光波長が360 nm以上の紫外領域の発光スペクトルの一部を変換する蛍光物質として、Mg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される1種を含むMで代表される元素と、少なくともMn、Fe、Cr、Snから選択される1種を含むM'で代表される元素とを有するEuで附活されたアルカリ土類金属ハロゲンアパタイト蛍光体とを用いた発光装置とすることである。この蛍光物質は、好ましくは少なくともMn及び20又はClを含むEuで附活されたアルカリ土類金属ハロゲンアパタイト蛍光体であり、より具体的には、 $(M_{1-x-y}Eu_xM'_{y})_{10}(PO_4)_6Q_2$ で表される蛍光体（ただし、MはMg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される少なくとも1種と、M'はMn、Fe、Cr、Snから選択される少なくとも1種と、Qはハロゲン元素のF、Cl、Br、Iから選択される少なくとも1種とを有する。0.001 ≤ x ≤ 0.5、0.0001 ≤ y ≤ 0.5である）であり、さらに好ましくは、 $(M_{1-x-y}Eu_xM'_{y})_{10}(PO_4)_6Cl_2$ （ただし、MはMg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される少なくとも1種と、M'はMn、Fe、Cr、Snから選択される少なくとも1種とを有する。0.0001 ≤ x ≤ 0.5、0.0001 ≤ y ≤ 0.5である。）である。これにより、360 nm以上の紫外領域で主発

光し、出力に優れる本発明の発光素子に対し、蛍光物質とを組み合わせることで、赤色成分を含み演色性に優れた白色発光素子が得られるため好ましい。このとき、360 nm 以上 の紫外領域は、上述したように、360 nm 以上 470 nm 以下の視感度の低い可視領域及び近紫外域を含むものであり、好ましくは、360 nm 以上 420 nm 以下の範囲である。

また、このような本発明の発光素子と上記蛍光物質とを用いた発光素子の形態において、発光素子は少なくとも紫外領域に発光スペクトルを有すると共に、前記蛍光物質は発光素子からの発光スペクトルの少なくとも一部を吸収し、2以上の発光ピークを持った発光スペクトルを発し、蛍光物質の発光スペクトルは少なくとも一部が互いに補色となる蛍光であるものとすることもできる。このとき得られる発光装置の発光は、前記少なくとも一部が互いに補色となる2以上の発光ピークを持った発光スペクトルは、短波長側の発光ピークの半値幅がそれよりも長波長側の発光ピークの半値幅よりも狭くなる傾向にある特徴が観られる。さらに、この発光装置において、前記2以上の発光ピーク間に発光ピークをもった別の蛍光物質をさらに用いることもできる。これにより、所望の発光色、演色性に優れた発光が得られる発光装置となる。また、このような蛍光物質には、組成によって前記少なくとも一部が補色となる2以上の発光スペクトルの強度比が調整されてなることも可能である。これにより発光色の設計自由度が高められる。さらに、前記蛍光物質に加えて、 $BaMg_2Al_{16}O_{27} : Eu$ 、 $BaMgAl_{10}O_{17} : Eu$ 、 $BaMgAl_{10}O_{17} : Eu, Mn, (Sr, Ca, Ba)_5(Po_4)_3Cl : Eu$ 、 $(Sr, Ca, Ba)_{10}(Po_4)_6Cl_2$ 、 $SrAl_2O_4 : Eu$ 、 $Sr_4Al_{14}O_{25} : Eu$ 、 $ZnS : Cu$ 、 $Zn_2GeO_4 : Mn$ 、 $BaMg_2Al_{16}O_{27} : Eu, Mn, Zn_2GeO_4 : Mn$ 、 $Y_2O_2S : Eu$ 、 $La_2O_2S : Eu, Gd_2O_2S : Eu$ 、から選択される少なくとも1種の蛍光物質を、発光装置に用いることもでき、これにより、様々な発光が得られる。さらに、蛍光物質の組み合わせとしては、前記蛍光物質に加えて、 $(M_{1-x}Eu_x)_{10}(Po_4)_6Q_2$ で表される蛍光物質を有する（ただし、MはMg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される少なくとも1種と、Qはハロゲン元素のF、Cl、Br、Iから選択される少なくとも1種とを有する。 $0.0001 \leq x \leq 0.5$ 、 $0.0001 \leq y \leq 0.5$ である。）もの、前記蛍光物質に加えて、 $(M_{1-x}Eu_x)_{10}(Po_4)_6Cl_2$ で表される

蛍光物質（ただし、MはMg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される少なくとも1種とを有する。 $0.0001 \leq x \leq 0.5$ 、 $0.0001 \leq y \leq 0.5$ である。）の、などをあげることができる。

5 (凹凸部有する基板)

本発明において、図20、30、32、33などに示すように、凹凸部190を基板若しくは、界面に設けた構造を有すると光取り出し効率を更に高めることができ好ましい。具体的には、図30、31の模式断面図に示すように、基板301（601）上に、成長層として、下地層313（613）、第1導電型層11としてn型電荷供給層302（602）、活性層（発光層）303（603）、第2導電型層12としてp型層304（604）を積層した構造において、光は発光層の上方である第2導電型層表面12sに向かう光だけでなく、全方位への発光があり、特に、下方の第1導電型層11側へ伝搬する光は、各層の界面、層と基板との界面、基板と外界との界面により、反射、回折されて素子内部を伝搬して一部は外部に取り出されていた。しかしながら、素子内部を伝搬する光は、その多くが各層の材料により吸収されて、外部量子効率を低下させていた。なぜなら、素子構造は $10 \mu m$ 程度の膜厚であり、縦方向（膜厚方向）で反射を繰り返してもその光路は短いが、横方向の光の伝搬は、チップサイズに依存し、その多くは $200 \mu m$ 以上、大きいものでは $1 mm$ 以上のものもあり、素子側面に到達して反射するまでの光路は縦方向の伝搬に比べて、極めて大きいものであり、すなわち、このことは反射を繰り返す前に光の減衰が大きく、そのほとんどは素子端面の反射面（出射面）に達する前に、図30の白抜き矢印に示すように、横方向成分が大きな光は、素子の上面、下面で臨界角を越えて全反射するため、上下に反射を繰り返し、距離の遠い素子側面に達するまで素子を構成する半導体材料などにより大部分が吸収され、損失されて、その結果、光取り出し効率が低下する傾向にある。

このような横方向の伝搬を少なくして、縦方向、特に上方の第2導電型層表面12s方向に光を伝搬させる凹凸部190を設けることにより、素子外部への光の取り出し効率、特に上方への光取り出し効率を高めることができる。

本発明の凹凸部 190 は、図 30 A、B、C に示すように、基板 601 とその上に成長させた窒化物半導体層 613～604 との界面に設けられるように、成長させる基板の表面に設けられることが好ましい。その他の形態としては、図 30 D に示すように、基板の成長表面（主面）と対向する裏面側に設ける形態、図 30 C に示すように、成長層の各層 613～604 の各界面を凹凸部 190 とすることができる。基板表面側に凹凸部 190 を設ける場合には、成長層（積層構造）に用いる窒化物半導体と異なる材料である異種基板を用いると、成長層の半導体材料との屈折率差を大きくでき、凹凸部 190 の反射・回折作用が高められ、好ましい。さらに好ましくは、基板材料を窒化物半導体材料（GaN）の屈折率よりも小さなものとすること、具体的にはサファイア、スピネル基板を用いることで、積層構造からの光はそれよりも屈折率の小さい基板との界面で反射されて上方に光を伝搬させることができるのである。一方、異種材料であっても、SiC、GaAs、InP のように、窒化物半導体よりも屈折率の大きな材料の基板では、その表面に凹凸部が形成されても、基板内部へ光が伝搬し、素子上方へ光を取り出すことが困難となるのである。しかしながら、このように屈折率の大きな基板の場合には、図 30 D に示すように、基板裏面側に凹凸部を設けることで、基板と外界との間の屈折率差の大きな界面で光を上方へ反射させることができ、一方、その界面が凹凸を呈することで、基板側からの光の取り出しが促進され好ましい。また、基板が窒化物半導体材料である場合は、成長層との屈折率差が小さくなるため、基板表面側よりも基板裏面側に凹凸部 190 を形成して基板側からの光の取り出しをする方が好ましい。

凹凸部 190 の形成方法は、凹凸部を設ける対象となる基板、成長層に、所望の形状の保護膜を形成して、エッチングして基板の一部を除去して段差を設ける方法、機械的な研磨・研削などの方法により段差を設ける方法をあげることができる。

本発明の窓部 41（電極開口部）を有する発光素子への適用においては、図 26 D、図 30 に示すように、窓部もしくは電極の形状、特にその方向を考慮して凹凸部を形成することが好ましい。具体的には、窓部もしくは電極開口部

の長手方向 196 に対し、基板面内において交叉する方向の凹部（凸部）側面 193 が形成されることが好ましい。具体的には、図 26D、30において、凹部 191、もしくは凸部 192 の上面側（観測面側）から見てその構成辺の方向が、上記長手方向 196 に交叉する方向であることが好ましい（191B、191C）。また凹部 193 が、連続した溝部 194（格子状の凹部 191）を形成する場合には、溝部 194 の方向が、上記長手方向 196 と交叉する方向であることが好ましい。さらに好ましくは、上面側からみて、電極が開口した窓部領域に、凹部 191 により複数の凸部 192A が分断、区分けされて、配置されることが好ましい。さらにまた、凹部 191A に示すように、長手方向に沿うようにほぼ並行な構成辺、もしくは溝部 194 方向を設けることが好ましい。

上述した凹部 191、凸部 192 の上面側から見た構成辺の方向の窓部領域に及ぼす作用について、図 30、32 を用いて、以下説明する。上述したように、活性層からの光において、下方及び横方向成分の大きな光は、素子内部での損失・吸収が大きいため、図 30A の白抜き矢印に示すように、凹凸部の発光観測面側から見た構成辺に相当する側面 193 により、主に反射、もしくは回折により図中の実線矢印に示すように、縦方向成分を強めた光の伝搬方向へと変化、すなわち、横方向に長い距離の伝搬をさせる前に、比較的短距離に位置する基板表面に到達した時に凹凸部でもって乱反射させることで、電極開口部である窓部 40 から上方へ光を導き、素子外部に取り出す働きを担うものである。図 30B を用いて説明すると、横方向成分の大きな光の伝搬は、上述したようにそのほとんどが縦方向成分をいくらか有しながら、上下面では臨界角を越えるために反射されて横方向に伝搬するため、左側の白抜き矢印の光が、基板凹凸部において、上下左右の小さな光（真ん中の矢印）に乱反射され、さらに残った横方向成分の大きな光も同様に縦方向の光（右側の矢印）取り出すことができ、その結果、上面側からの光取り出しが高められる。この際に、図 32 に示すように、基板上方に位置する電極開口部の窓部 40A、B に光が入射するが、窓部 40A に入射する光（図中の白抜き矢印）を観ると、凹部 191、凸部 192 の発光観測面側構成辺により反射された光が上方に伝搬したも

のに由来する。一方、発光の源は、電極 20 と基板との間にある活性層であり、そこから直接窓部に向かう光以外の光を凹凸部 190 で反射させて効率的に取り出すために、凹凸部が設けられるものである。しかし、本発明のように、ほぼ光を遮光する電極 20 (120) でもって、第 2 導電型層 12s を表面の一部を覆い、その電極開口部で光取り出しの窓部とした場合には、図 23 に示すように、活性層の部分的な発光部 3a から全方位に放射される光の一部だけが臨界角未満で窓部 40 に入射して、残り大部分の光は、素子内部で反射・回折を繰り返しながら効率的に第 2 導電型層の微少面積である電極開口部の窓部領域に再び入射させるには、上記形状、構成辺を有する凹凸部を形成することで解決できる。すなわち、図 32において、窓部領域 40A の下方領域を基板面内で、長手方向 196 に対し斜めに横切る横方向成分の多くの光を、構成辺の方向が長手方向 196 に対し交叉、傾斜していることで、その凹凸部側面で反射させ、直上に位置する窓部に入射させることが可能となる。一方で、長手方向にほぼ平行な方向の溝部 191A (構成辺) の場合には、上記と同様に、窓部下方領域をほぼ長手方向にほぼ直交して横切る光を、その構成辺による凹凸部側面でもって直上の窓部領域に反射させることができる。これは、図に示すように、長手方向を有する窓部の場合に特に重要であり、それは長手方向に対応した発光部 3a による光は、線光源となるため、例えば窓部 40B の下方に位置する発光部は、その斜め下方に位置し、長手方向と同じにする溝部 191A の側面で好適に直上の窓部 40A に入射させることが可能となる。すなわち、長手方向を有する窓部が、その長手方向に傾斜した方向、好ましくはほぼ直交した方向 197A に、周期的に配列されたような窓部であると、具体的には実施例に示すように、ストライプ状である場合には、有効である。従って、長手方向を有さない窓部においても、窓部が所望の方向 (複数も可) に複数配列された形態、例えば図 8, 18A では 1 方向に配列された各素子に素子配列方向 197A にほぼ垂直な 1 方向 (196, 197A, 197B) に窓部が配列され、図 12, 14, 21, 26~28 では窓部の長手方向 196 にほぼ垂直な 1 方向 197A に窓部が配列され、図 13, 17, 18B では互いにほぼ垂直な 2 方向 (197A, 197B) に窓部が配列される形態、においては、その

配列方向に交叉する方向（傾斜する方向）、その配列方向にほぼ垂直な方向、その配列方向にほぼ平行な方向、の少なくとも1つの構成辺もしくは溝部を有することが好ましく、さらに好ましくは、少なくとも2つの構成辺もしくは溝部を有することであり、このときの2つの方向としては傾斜方向と、平行もしくは垂直方向のいずれかの組み合わせとすることが好ましく、特に、配列方向197が2方向以上、もしくは配列方向197と長手方向196とを有する場合に有効である。

また、窓部が長手方向を有さず、また複数の領域が設けられるような場合には、具体的には図8、13の形態においては、上述したように、図26D、32に示すように、各窓部領域40（40A、B）内で、発光観測面側からみて、複数の凸部192もしくは凹部191が設けられることが好ましい。これは、少なくとも1つの凸部と凹部が形成されることで、その協会に位置する凸部側面193（凹部側面）が発光領域に直下に設けられることで上述した効果が得られ、さらに好ましくは構成辺もしくは溝部、または両者の境界が、上記互いに異なる複数の方向を有するように、少なくとも2つの側面193が1つの窓部領域に、すくなくとも複数の凸部若しくは凹部、または複数の凸部と凹部の境界線を設けることが好ましい。

ここで、凸部192、凹部191の形状は、基板上面側（発光観測面側）からみて、図20、32などに示すように、凸部、若しくは凹部が、少なくとも1つの構成辺若しくは溝部、好ましくは異なる方向の2つ以上の構成辺若しくは溝部が設けられることである。このとき、図に示すように、多角形状に限定されず、上面側からみて、隣接する凸部と凹部の境界線の一部が、上記少なくとも1つの方向、好ましくは異なる2つ以上の方向を有し、他の部分が曲線状などであってもよい。また、直線部を有していない円形状、橢円形状などのような形態にあっては、上述したように各窓部領域内で、凹部と凸部との境界により複数の凸部（凹部）領域に、分断され、区画された領域であることにより、上述した効果を奏する。凹凸部の上面側から観た具体的な模様としては、図33に示すように、黒色領域、白色領域を、それぞれ凸部、凹部に割り当て、若しくはそれを反転させた形状とできる。これら複数の凸部、凹部領域を、1つ若しくは複数設けて基本単

位 195 を構成し、基板面内で、この基本単位を等間隔若しくは隣接して、並進・配列して、基板表面に基本単位を複数設けて凹凸部の模様もしくは図形が形成される。各凸部、凹部の形状は、図 33 に示すように、格子状、多角形状の他、円形状、橢円形状、若しくは両者の境界が直線、曲線若しくは直線と曲線の組み合わせなど、様々な形態を適用できる。また、断面形状は、図 30 に示すように、基板の正面、p n 接合面 51、第 2 導電型層表面 12-s にほぼ垂直な側面 193 であってもよく（図 30 A, C, D）、図 30 B に示すように傾斜した側面とすることもできる。好ましくは、ほぼ垂直な側面若しくは凹部が上方に幅広となる図 30 B に示す傾斜側面とすることであり、さらに好ましくは凹部が幅広となる傾斜側面を有することで、上述したように、横方向成分の大きな迷光を、効率的に上方に反射・進行させることができる。また、凸部、若しくは凹部の上面については、基板の正面、p n 接合面 51、第 2 導電型層表面 12-s に対し、ほぼ平行であっても、傾斜した面であっても、ほぼ垂直な面であってもいずれでもよく、好ましくは実施例で示すように基板面若しくは表面 12-s にほぼ平行な上面が凸部に形成されていることである。これは、窓部の直下方向に進行する光を直上に反射して、さらに近接の発光部 3a からの光を反射して窓部に進行させることができる傾向にあるためである。また、凹凸部の大きさとしては、光を反射させるため、少なくとも凹部の深さ（凸部の高さ）が $\lambda / (4n)$ 以上とすることである。ここで λ は発光波長、n は凹凸部を設ける対象の屈折率、例えば実施例では基板の屈折率である。好ましくは、加工精度を考慮して、0.1 μm 以上とすることであり、また、成長層により平坦な表面を形成するには 10 μm 以下とすることで、下地層の膜厚を小さくして、下地層表面で平坦な面が得られる。構成辺の長さ、幅としては、特に限定されないが上述したように、窓部領域内で複数の凸部若しくは凹部を複数形成するため、窓部の幅、長さ、径よりも小さくすることが好ましい。具体的な大きさとしては、0.5 μm 以上 10 μm 以下の範囲で辺の長さ、幅とする。

後述する実施例 1において、発光観測面側から発光状態を観察すると、電極 120a の開口部（窓部）においては、全体的に発光している中で、凸部 192 の方が、凹部 191 よりも明るく観察され、さらにその凸部において上述したように凹凸部の構成辺、若しくは境界線が明るく発光している様子が観られる。また、

第2導電型層表面12sにおいて、拡散電極が設けられていない凸部51側面(150～154)近傍の非電極形成部(露出部)では、窓部よりも発光が弱いものの上記凸部と凹部との明部と暗部の差がより顕著となり、また上記構成辺若しくは境界線における発光もより強くなる傾向が観られる。さらに、第1導電型層の露出面11sにおいても、非電極形成部(露出部)でも、第2導電型層露出面12sよりも弱いものの上記凸部と凹部との明部と暗部の傾向が観られ、第1導電型層表面11sからも好適に光が取り出されている。このため、好ましくは、基板面において(発光観測面側、上面側から観て)、凹部と凸部との面積比([凸部面積] / [凹部面積])を少なくとも1以上とすること、すなわち、凸部の面積を凹部の面積とほぼ同じか大きくすること、好ましくは1より大きくして凸部の面積を大きくすること、更に好ましくは、3以上(3倍以上の面積)とすること、最も好ましくは4(4倍以上の面積)以上とすることで、暗部となる凹部(溝部)の面積が低減され、光出力が高くなる。また、この時、上述したように構成辺若しくは境界線における凹部側面が素子外部への光の取り出しに寄与する為、この構成辺若しくは境界線の長さの総和も光取り出し効率の影響を及ぼす。ここで、構成辺若しくは境界線の長さの総和は、基本単位を用いる場合には、基本単位195の面積当たりの長さの総和([長さの総和(μm)] / [基本単位195の面積(μm²)])で考えることができ、基本単位を有していない凹凸部の形状の場合には、5μm角(面積25μm²)(仮の基本単位となる)当たりの長さの総和を考慮し、また、基本単位が面積25μm²に満たない場合には、基本単位を複数配列し、又は基本単位が面積100μm²を超える場合には基本単位を小さくして、面積が25μm²以上100μm²以下程度となる第2基本単位として、考慮すると良い。単位面積当たりの長さの総和としては、好ましくは2(μm / μm²)以上、更に好ましく3(μm / μm²)以上、最も好ましくは、5(μm / μm²)以上とすることが好ましい。更に上述したように、凹凸部による光取り出し効率向上効果は、第1、2導電型層の表面において、電極から露出した露出面であるため、少なくとも、電極開口部(窓部)において、上記面積比若しくは単位面積当たりの長さの総和を考慮することが好ましく、更に好ましくは、それに加えて第2導電型層表面12sにおける電極(第1～3の電極)からの露出面において考慮することであり、さらに好ましくはそれらに加えて、第1導電

型層表面 11s における電極 (21, 24, 121, 124) からの露出面を考慮することである。

(一実施形態)

5 本発明の一実施形態である図 21～24 について以下説明する。

本発明に係る窒化物半導体発光素子において、上記 p 側電極を互いに電気的に導通する複数の電極枝 120a を有する櫛型形状に形成することにより、その隣接する電極枝の間を発光部とすることができる。

また、本発明に係る窒化物半導体発光素子において、上記複数の電極枝は、互いに平行に形成されていることが好ましい。

またさらに、本発明の窒化物半導体発光素子においては、上記第 2 p 型層の上に、上記 p 側電極に電気的に接続された p 側パット電極を形成することができるが、その場合、上記 p 側パット電極直下に電流阻止部を形成することが好ましい。

また、本発明の窒化物半導体発光素子においては、上記 p 側パット電極はその一部が上記 p 側電極の一部に重なるように設けられていることが好ましい。

さらに、本発明の窒化物半導体発光素子においては、上記第 2 p 型層、上記第 1 p 型層及び上記発光領域の一部を除去して露出させた n 型層の表面に n 側電極を形成することができるが、その場合、その n 側電極に近接する上記第 2 p 型層の外周縁端部と上記 p 側電極との間の距離を上記第 2 p 型層の他の外周縁端部と上記 p 側電極との間の距離より大きく設定することが好ましい。

またさらに、本発明の窒化物半導体発光素子においては、上記第 2 p 型層、上記第 1 p 型層及び上記発光領域の一部を除去して露出させた n 型層に形成された n 側電極と、上記第 2 p 型層上に形成され上記 p 側電極と電気的に接続する p 側パット電極とをさらに有し、上記電流阻止マトリクス層には、互いにほぼ平行な電流通過部が複数設けられていてもよいが、その場合、上記電流通過部の長手方向と上記 p 側パット電極と n 側電極とを結ぶ方向とを交叉させることが好ましい。

またさらに、本発明の窒化物半導体発光素子においては、上記電流通過部が、上記 n 側電極近傍の側面に達するように設けられていることが好ましい。

以下、図面を参照しながら本発明に係る実施の形態について説明する。図 21 は、本発明に係る実施の形態の窒化物半導体発光素子の電極構造を示す平面図

であり、図2 2は本実施の形態の窒化物半導体発光素子の断面構造を示す図2 1のA-A'線についての断面図である。

半導体積層構造はその一部分においてn型層1 1が露出されるまでエッティングされ、その露出されたn型層1 1上にn側電極2 1が形成される。

5 また、p側電極2 0は電流拡散層6上に、互いに平行に形成された複数の電極枝2 0aを有する櫛形形状に形成される。これにより、電極枝2 0aの間に電流拡散層6の表面が露出された発光部4 0が形成される。尚、p側電極2 0は外部との接続に用いられるワイヤーボンディング用のpパッド部2 2を有し、各電極枝2 0aはその一端で導通されさらにpパッド部2 2に電気的に導通される。

10 本実施の形態の窒化物半導体発光素子は、上述のように発光部4 0を形成するように設けられた電極構造と、各発光部4 0にそれぞれ対応する電流通過部5 bと電流阻止部5 aとからなり電流拡散層6とキャリア閉じ込め層4 aとの間に設けられた電流阻止マトリクス層5とによって特徴付けられるものである。この電流阻止マトリクス層5は、図2 1及び図2 2に示すように、p側電極2 0の下には必ず電流阻止部5 aが位置し、電流通過部5 bが発光部4 0の直下に位置するように電流拡散層6とキャリア閉じ込め層4 aの間に形成されている。

15 以上のように構成された実施の形態の窒化物半導体発光素子において、p側電極2 0（電極枝2 0a）から注入されたキャリア（ホール）は、p側電極2 0の直下に形成された電流阻止部5 aにより最短距離で活性層3に到達することができず、図2 3の矢印C 1に示すように、電流通過部5 bを通って発光部4 0の直下に位置する分布発光領域（分布活性領域）3 aに注入される。

20 一方、n側電極2 1から注入されたキャリア（電子）は、図2 3において矢印C 2により示すように、p型の層より抵抗値の低いn型層1 1を横方向に移動し活性層3全体に注入される。このようにして、注入された電子とホールは、分布発光領域3 aにおいて再結合して発光し、発光した光を発光部4 0から出射する。

25 以上のようにして、本実施の形態の窒化物半導体発光素子では、発光部4 0の直下に位置する分布発光領域3 aに選択的にホールを注入することにより、分布発光領域3 aにおいて選択的に発光させ、その発光した光を発光部4 0を介してp側電極2 0に遮られることなく出射できるので、発光した光を効率良く出射す

ことができる。

次に、本実施の形態の窒化物半導体発光素子における、発光部40と各発光部40に対応して設けられた電流通過部5aの形状及び位置関係について詳細に説明する。まず、分布発光領域3aで発光した光が発光部40において電流拡散層6の表面で反射されることなく出射されることが好ましい。

かかる観点から考察すると、本実施の形態の窒化物半導体発光素子では、分布発光領域3aにおいて発光した光が発光部40の電流拡散層6表面に入射される際の入射角 θ （図23に図示）が、全反射角 θ_c より小さくなるように分布発光領域3aの範囲と位置及び発光部40の形状（特にその幅）と位置を設定することが好ましい。ここで、全反射角 θ_c は、電流拡散層6の屈折率をn、発光素子外部の外界を空気とすると、 $\sin^{-1}(1/n)$ で与えられる。

しかしながら、発光部40の電流拡散層6表面に入射される際の入射角 θ （図23に図示）が、全反射角 θ_c より小さくなるようにすると、発光部40の幅が狭くなるので、分布発光領域3aから等方的に放射された光のうち限られた範囲の光しか発光部40から出力することができないようになり、p側電極20により遮られる（反射される）光が多くなる。かかる観点からは発光部40の幅は広い方が好ましい（但し、全反射角 θ_c より大きくなると発光部40の両側の表面で反射されるようになるのでそれ以上広くしても意味はない。）。

これらのこと総合的に考慮すると、分布発光領域3aにおいて発光されて発光部40の端部に入射される光の入射角 θ が概略全反射角 θ_c に等しくなるように、発光部40の位置及び範囲を設定することが好ましい。ここで、分布発光領域3aの範囲と位置は、主として電流通過部5bの形状及び位置により設定することができる。

すなわち、本実施の形態の窒化物半導体発光素子においては、言いかえれば、発光した光が発光部40の電流拡散層6表面に入射される際の入射角 θ が、全反射角 θ_c に略等しくなるように発光部40の形状、電流通過部5bの形状及び互いの位置を設定することが好ましい。また、本発明において、電極枝20aの幅は、1 μ m以上、5 μ m以下が好ましい。

また、発光部40の形状は、従来技術の欄で説明したように、他の半導体材料に比較してp型窒化物半導体の抵抗が高く、電流拡散層6及びキャリア閉じ込め

層 4 a における横方向の拡散が比較的小さいことを考慮して決定する必要がある。

すなわち、電流拡散層 6 の厚さに対して発光部 4 0 の幅 (p 側電極 2 0 からの距離) を大きくし過ぎると次のような不都合が生じる。発光部 4 0 の幅を広くしてその広い幅に対応させて電流通過部 5 b の幅を大きくすると、比較的幅の広い分布発光領域 3 a が形成されることになるが、この場合、分布発光領域 3 a において p 側電極に近い部分に多くのホールが注入され、p 側電極から離れた分布発光領域 3 a の中央部ではホールの注入が少なくなり、その結果、分布発光領域 3 a において発光強度の不均一が生じる。発光部 4 0 の幅を広くして電流通過部 5 b の幅を狭くすると、比較的抵抗値の高い電流拡散層 6 を横方向に流れる電流の経路が長くなり、電流拡散層 6 におけるジュール損失が大きくなる。

以上の種々の要因を考慮すると、電流拡散層 6 の厚さ T 6 を、0.45 μm とした場合、発光部 4 0 の幅 W 4 0 の好ましい範囲は、2 μm 以上 6 μm 以下であり、電流通過部 5 b の幅 W 5 b の好ましい範囲は、1 μm 以上 5 μm 以下である。

また、本発明において、分布発光領域 3 a で発光した光は、半導体内において等方的に伝播されるので、発光した光の一部は基板側に伝播される。

そこで、本実施の形態の窒化物半導体発光素子では、n 型層 1 1 と基板 1 の間にミラー層 1 0 を形成することにより基板側に伝播された光をそのミラー層 1 0 により反射させて発光部 4 0 から出力するようにしてさらに取り出し効率を向上させている。

本発明の発光素子は、素子積層構造として、n 型層と第 1 p 型層との間に、発光領域となる活性層が設けられた構造であり、より具体的には、図 27 や実施例に示すように、基板の上に、n 型窒化物半導体を有してなる n 側層、窒化物半導体からなる活性層、p 型窒化物半導体層を有してなる p 側層が積層された構造であり、その p 側層において、電流阻止マトリクス層 5 が形成され、その電流阻止マトリクス層と活性層との間には第 1 p 型層が形成され、電流阻止マトリクス層の上には、第 2 p 型層が少なくとも形成されている。また、第 2 p 型層として電流拡散層を設けることがこのましく、更に、基板と活性層との間にミラー層を設けることが好ましく、より好ましくは、ミラー層を基板と n 側層との間に設ける。

p 側電極 1 2 0 a は、上述したように、電極枝が各発光部を囲むように p 側層

表面に形成されるものである。本発明における電極の形状は、図26に示すように、ストライプ状の電極枝を複数形成して、各電極枝を接合する結合部171が設けられたくし形の構造、図28に示すような格子状等、さらには、ドット状、扇形状、円形状など、下方に位置する電流阻止マトリクス層の形状に対応させて様々な形状を適用できる。本発明では、発光部から多くの光を取りだし、上方への発光を高めることを目的としているため、好ましくは、図26に示すストライプ状の発光部のように、1つの発光部の面積を大きくすることが可能な電極形状とすることが好ましい。

このような発光部の形状と関連して形状が決定されるp側電極20a、120aは、実施例に示すように、p側層表面で該p側層とオーミック接触して素子内部に電流を注入するためのオーミック電極である。通常、窒化物半導体発光素子では、このオーミック用のp側電極120aとは別に、例えば、ワイヤーボンディングにより接続する発光素子にあっては、ボンディング用のpパット電極122を形成して、そのpパッド電極122をオーミック電極と電気的に接続する。このpパット電極は、図26～28に示すように、p側層の上に設ける形でも良く、メタル配線してp側層の外部、例えばn側電極形成面102sに絶縁膜を介して設けたり、基板表面101a上に設けることもできる。

p側層の上に形成する場合には、図26に示すように、p側パット電極122を、p側電極120aの一部が重なるように形成するしてもよいし、図28に示すように、p側電極120aの上にp側パット電極122を形成してもよい。

n側電極については、図21、26、27に示すように、ボンディング用のパット電極と、n側層とオーミック接触するオーミック用の電極とをほぼ同一の形状として、オーミック電極121とパット電極112bとを重ねて積層しても良いし、図28に示すように、オーミック用のn側電極121を、パット電極124と異なる形状、異なる工程で積層して、形成してもよい。

図28に示す形態では、n側電極を形成するための電極形成面を素子の外周に沿って形成し、活性層を取り囲むようにn側電極121を形成している。そして素子の1つの隅部においてパッド電極112bを形成するための領域を設け、その部分においてn側電極121とパッド電極112bとを接続している。

また、本発明の発光素子では、図28に示すように、p側電極120aにおいて外周縁電極部172が設けられて発光部が完全にp側電極により囲まれる構造と、図26に示すように、発光部が完全にはp側電極120aにより囲まれていない構造とがある。本発明では、いずれの電極構造であっても、図26(b)等に示すように、p側電極を、p側層の外周縁端部(側面)150~154から離れて形成することが好ましく、特に、n側電極121と近接する側面150とp側電極120aとの距離160は、本発明において、電流注入、光取り出し等に影響を与える重要なファクターとなる。すなわち、実施例に示すように、基板の上に、n側層、活性層、p側層が積層されて、p側層からエッチングなどにより、n側層の一部を露出させて、n側電極形成面102sを設けて、基板の上に、正負一対の電極が設けられる発光素子構造では、各電極形状、配置、及びn側電極形成面により露出されたp側層、活性層の側面150~154の形状、n側電極形成面の形状、さらには電流通過部の形状、配置は、電流経路、光取りだし効率に大きく影響を及ぼすものとなる。

このような場合、n側電極近傍の側面150(外周縁端部)とp側電極との距離160は、少なくとも5μm以上、好ましくは10μm以上とすることが好ましい。これは、5μm未満の距離まで、p側電極枝が形成されると、n側電極近傍の側面150付近に、多くの電流が流れる構造となり、発光部の均一な発光を妨げる傾向にあるからである。その距離を10μm以上とすると、n側電極近傍の側面150付近への電流集中を緩和でき、面内に広く広がった電流通過部全体に電流を通過させることができ、均一な発光が得られる。

特に、図26~28に示すように、p側層側から、活性層、n側層の一部が除去されて、n電極を形成する電極形成面が設けられ、正負一対の電極が、基板の同一面側に配置された構造において、上記距離160は、発光素子特性に大きな影響を与えることとなる。具体的には、発光領域側面150~154の内、n側電極近傍に位置する側面150(外周縁端部)とp側電極120aとの距離が、他の側面151~154(外周縁端部)とp側電極との距離より大きいことで、上記電流経路を面内に均一なものとでき、電流通過部5b全体に電流を通過させることができ、発光部において均一性に優れた発光が得られる。これは、n側電極に近い側面150は、上述した電流集中傾向があるため、他の側面151~1

5 4よりも、p側電極枝の距離を大きくして、電流集中を抑えることができるからである。ここで、側面150は、言うまでもなく、複数の発光領域側面が設けられた電極構造において、n側電極121に最も近い距離にある側面であり、その近傍側面150は、図26等では曲面形状を有しているが、図21の電極構造では、2つの直交する側面がn側電極近傍の側面となる。従って、側面150が、曲面でなく図21のように屈曲した2つの平面である場合には、その2つの平面ともn側電極近傍の側面となる。図21, 26に示すように、オーミック電極とパット電極とが同一形状の場合には、近傍側面を明確に定義することができ、近傍側面が曲面であっても直交する平面であっても上述の説明は成り立つ。

10 しかしながら、図28に示すように、オーミック電極121とパット電極112bが異なる形状となる場合においても結果としては同様のことが言える。すなわち、図28の場合は、n側パット電極124に近接する側面を近傍側面150と同様に考える。これは、同一面側に正負の電極が設けられた構造では、ボンディング用の電極は、オーミック用の電極121に比べて厚膜で形成されることから、図27(b)に示すように、このような厚膜のパット電極124は、発光領域側面からの光の出射を遮断し、光取りだし効率を低下させたり、側面からの光出射量に偏りが発生して、発光素子の指向性を低下させる傾向にある。従って、この図28の構造であっても、近傍側面150とp側電極との距離160を、他の側面からの距離より大きく取ることで、n側パット電極に遮蔽される光を少なくて、他の側面から効率的に素子外部に光を取り出せる発光素子構造となる。

20 p側パット電極122は、上述したように、電極枝であるオーミック用のp側電極120aに電気的に接合されて、主に素子上に配置されるものであるが、特に、図21、26～28に示すように、p側層上にp側パット電極が形成される場合には、図21のように、p側パット電極の下面の全面がp側電極20aと接するようにp側電極20aの上にp側パット電極22を重ねて形成する構造と、図26, 28に示すように、p側パット電極122とp側電極120aとが部分的に重なるように形成する場合とがある。この2つの場合を比較すると、後者のように(図27(b)、図28(b)に示す)、第2p型層上において、p側パット電極122とp側電極120aとが一部で重なる構造とすることにより、詳細後述するように、p側パット電極122の光反射率が高いことを利用でき、前者

に比べて、光取りだし効率を高めることが可能となる。

すなわち、上述したようにボンディング用のp側パット電極は、オーミック用の電極に比べて厚膜で形成される傾向にあるため出射光の大部分を遮蔽し、またボンディング時の密着性を高めるために大きな面積で形成されることから、発光領域からp側パット電極方向に伝搬する光の量が比較的多く、その光を外部に取り出すことが困難である。しかしながら、オーミック用の電極材料とパット電極の材料は、目的が異なることから通常は異なる材料で構成され、そのパット電極用の材料は通常、光の反射率が高く、かつパット電極は厚く形成されることから、p側電極120aに比較してパット電極の光反射率が高くなる傾向にある。

この反射率の違いにより、p側パット電極と第2p型層との間に、大きな面積のp側電極120aが設けられると、p側電極120aに吸収されることによる光損失も大きくなり、光取りだし効率を低下させることとなる。これに対して、図26～28のに示すように、p側パット電極122とp側層107との間に設けられるp側電極120aの面積を小さくして、p側パット電極の一部がp側電極120aの一部と重なるようにすると、別の見方をすれば、第2p型層122の上に直接接するpパッド電極の面積を大きくすると、p側電極120aによる光の損失を抑えて、p側パット電極122により光を素子内部へ反射させ、さらに下の層（例えば、ミラー層）により反射させて外部への光取り出すことが可能となる。

このようにpパッド電極による反射を利用して光の取り出し効率を向上させようとする場合、p側パット電極の材料は、オーミック用のp側電極の材料に比較してより光に対する反射率の高いものを選択すると良いことはいうまでもない。具体的には、反射率の高いp側パット電極に用いられる材料としては、従来知られたパット電極材料、例えばTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Re、Mn、Al、Zn、Pt、Au、Ru、Pd、Rhを用いることができ、好ましくは、Ag、Al、Pt、Cu、Ni、Ti、Au、Rhからなる群から選ばれる少なくとも1種を用いることであり、更に好ましくはAg、Al、Ptからなる群から選ばれる少なくとも1種を用いることである。これは、窒化物半導体発光素子として、特に多用される緑色～青色（紫外域）の波長において、上記材料が優れた反射率を有するためである。ここで、各電極は、層構造で積層

したものでも良く、複数の材料をからなる合金としても良い。p側電極は、オームック接触用であるために、従来知られたp型窒化物半導体との優れたオームック性を実現する材料を用いることができる。

また、p側パット電極122と第2p型層表面との関係について言えば、図2
5 6～28に示すように、p側電極形成面122a表面に接して、p側パット電極
122が設けられていても良いが、透光性の膜などが介在していても良い。前者
のように、p側層表面に接して形成させる場合には、実施例などに示すように、
p型層とオームック接触させずに、ショットキーバリアを形成するような材料、
10 層構成とすることが好ましく、また透光性などの膜を介する場合には、絶縁膜と
することが好ましい。これにより、電流通過部に対応して設けられたp側電極枝
を介して多くの電流を発光領域に注入することができ、p側パット電極直下を流
れる電流をなくし、従ってp側パット電極直下における発光を抑える素子構造と
できる。また、p側パット電極とp型層との間に介在させる膜としては、絶縁性
15 で透光性を有する膜が好ましく、具体的な材料としては、上述した誘電体膜、酸
化物膜を挙げることができる。

また、以上のように、p側パット電極が、p型層の上に設けられ、正負一対の
電極が、n型層露出面側に共に配置されるような構造である場合に、p側パット
電極直下の電流阻止マトリクス層には、電流阻止部が設けられていると、電流通
過部が設けられている場合に比べて、光取りだし効率を高くできるため好ましい。
20 これは、p側パット電極は、上述したように、光遮蔽作用が強いため、その直下
部の発光領域における発光を小さくする方が、p型層表面を介して出射される光
を多くできるためである。具体的には、図26(c)、27(b)に示すように、
p側パット電極122の直下部の領域122aに、電流阻止部105aが形成さ
れていることで、その領域122aでは、電流が阻止されるため、その下部の活
25 性層における発光を抑えることができる。この時、図27(b)に示すように、
p側電極120aが形成されていない被形成部(露出部)に設けられたp側パッ
ト電極122の下部の領域122aに少なくとも電流阻止部105bが設けられ
ることが好ましく、更に好ましくは、p側パット電極122下部全体に渡る大き
さで、電流阻止部を設けることにより電流を効果的に阻止できて、p側パット電
30 極直下の発光領域をなくすことができるからである。

また、本発明の発光素子において、電流阻止マトリクス層は、その電流通過部の形状、及び、電流通過部の形成方向によって、発光素子の発光効率、光取りだし効率は大きく影響を受ける。例えば、図21に示すように、n側電極21とp側電極20との間に、電流阻止マトリクス層が形成されていないような形態においては、電流通過部の形状、方向の違いによる発光効率への影響は小さいが、図26～28に示すように、p側電極とn側電極との間に、電流阻止マトリクス層が形成される場合には、電流通過部の形状、方向により発光効率が大きく依存する傾向にある。後者の場合、p側パット電極とn側パット電極とを結ぶ方向が、電流通過部の長手方向に対し、平行とならずに交叉するように設けられた構造とすることが好ましく、これにより、p側パット電極とn側パット電極とを結ぶ方向と電流通過部の長手方向とが平行な場合に比較して発光効率を大きくできる。

これは、p側パット電極とn側パット電極との間を流れる電流は、その最短距離、すなわち、図26、28の平面図において、p側パット電極とn側パット電極とを結ぶ対角線方向に多くの電流が流れるため、これに平行に電流通過部を設けると、対角線に近い位置の電流通過部、図26においてB-B'線に近い電流通過部105bに電流が集中する傾向が強くなり、発光部における光の取り出しが偏ったものとなるが、図26、28に示すように、各電流通過部の長手方向がp側パット電極とn側パット電極とを結ぶ線の方向に交叉するような形状、方向とすることで、各電極の最短距離を分断するように、電流阻止部が設けられることとなり、電流マトリクス層による電流の分散性を高めることができる。これにより、発光部における光分布の均一性を高めることができる結果、光取りだし効率を大きくすることができる。この時、好ましくは、p側パット電極とn側パット電極とを結ぶ線分内に、少なくとも1つの電流通過部、電流阻止部が設けられて、その線分と交叉していることが好ましい。ここで、各電極の内、パット電極間の線分、及びその方向を電流通過部の形状及びその長手方向とが影響し合うのは、オーミック電極の形状により電流の経路が変わるもの、オーミック電極よりパット電極の配置により電流経路が大きく依存するためである。また、各パット電極の配置は、図21に示すように、発光素子内的一部に偏って配置される場合よりも、図26、28に示すように、パット電極間の距離が大きくなるように、例えば対角線上に配置された構造の方が、上記交叉による電流拡散効果が高くな

る傾向にあり、好ましい。具体的には、図26、28に示すように、矩形状の発光素子チップに対して、対角線上であって、対向する角の近くに、それぞれ電極を配置した構造であることが好ましく、また、矩形状若しくは多角形の発光素子チップの対向する辺の近傍に、それぞれ電極を配置する構造であっても良い。具体的には、矩形の発光素子チップで、対向する2辺の各点の中点部、若しくは端部近傍に、電極をそれぞれ配置した構造であっても良い。

このように、本願は発光部40から発光させる構造としていることから、発光部40の表面には、封止部材100若しくは大気を設けた構造とし、従来のような透光性の電極を設けないで、電極による光損失をなくした構造とすることが好ましい。すなわち、発光部40表面には、図9、上述した屈折率を考慮した封止部材が設けられた発光装置とすることが好ましい。一方で、発光素子内部からの光の取り出しを更に高める目的で、発光部40表面に透光性膜を形成することも可能である。この場合、従来の透光性電極とは異なり、電流注入は上記p側電極120aが担い、光取り出しは、発光部表面に設けられる透光性膜が担う構造とし、p側層表面において、電極形成部と発光部とにより機能分離させた構造とすることが好ましい。このため、透光性膜は、従来の透光性電極のように光損失の大きな材料を用いて電流注入機能を担う必要がないため、高い透過率の透光性材料を用いることができ、具体的には絶縁性の透光性材料を用いることができる。ここでの透光性膜は、p側電極と電気的に導通しない材料、若しくは構造とすることができる。透光性膜としては、 ZrO_2 、 TiO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 などの誘電体膜、上記封止部材、窒化物などの従来知られた絶縁性の透光性膜を用いることができる。この時、p側層を構成する多くの窒化物半導体、特に第2p型層の窒化物半導体の屈折率より大きな屈折率の透光性膜を用いると、素子外部である透光性膜への光の伝搬が良好なものとなり、また、上記全反射角 θ_c を大きくでき、発光部からの光の取りだし効率を高めることができる。また、図9(d)に示すように、第1の封止部材100dが発光素子側に設けられ、その外部に第2の封止部材100eが設けられる場合と同様に、透光性膜とその外部に設けられる封止部材との屈折率差を考慮することで、発光出力の良好な発光装置とできる。また透光性膜は半円球状、半円柱状などとして発光素子に設けることでも、透光

性膜と封止部材との界面形状、すなわち発光素子外部（封止部材）への入射角小さく調節でき、光取りだし効率を高めることができる。

実施例.

5 [実施例 1]

実施例 1 の LED として、図 26（図 26D）及び図 27C に示す発光素子を基に以下説明する。ここで、第 1 導電型層 11 を n 型層側とし、第 2 導電型層 12 を p 型層側とし、基板 101 には図 20、30、32、33 に示すように、基板に凹凸部 190 を設けた基板 601 を用いる。また、図 26D は、図 10 26A～C に示す発光素子に比して基板 101 を凹凸部 190 有する基板とした他はほぼ同じであり、図 27C も同様に、図 27A、B と基板が異なる他は、各導電型層の層構成に変更がある他はほぼ同様であり、また図 26D の C-C' 断面構造を示す模式図でもある。

（基板 101）図 26D に示す基板 101 として、窒化物半導体と異なる材料の異種基板とし、オリフラ面を (1120) A 面とし、(0001) C 面を主面とする 2 インチのサファイア基板を用意し、凹凸部 190 を形成する。凹凸部 190 は、サファイア基板上に、SiO₂ の保護膜を成膜した後、フォトリソングラフィー技術により、図 33 に示す基本単位 195 の三角柱状の凸部 192（図 33 の基本単位 195A の黒線に囲まれた白色領域）に対応した部分的な保護膜を、基本単位 195 を基本単位の各辺に並進させた別の基本単位 195 の各辺を設ける繰り返し周期配列で、ほぼ基板の全面にハニカム状（六角格子状）に基本単位 195 を並進・配列して形成し、RIE により保護膜から露出された領域を約 1 μm の深さでエッチングして、凹部 191（溝部 194）を形成して、凹凸部 190 を得る。ここで、図 20 に示す各凸部 192（図 33 の基本単位 195A の白色領域で示す凸部）の三角形は、一辺が 5 μm の正三角形とし、凹部（図 33 の基本単位 195A の黒線で示す凹部もしくは溝部）は、溝部 194 とし、凸部 192 の間隔が約 2 μm となるように、すなわち、溝部 191 の幅が約 2 μm とする。このとき、図 20B に示すように、凹部 191 を構成する 3 方向の溝部の内、第 1 の溝部 194A は、オリフラ面 601

AであるサファイアA面にほぼ垂直な方向（サファイアの<0010>方向）とし、残り2方向の溝部194B、194Cは、溝部194Aに約60°傾斜（サファイアの<1000>、<0100>方向）させて形成し、これら3方向の溝部194A～Cに囲まれて凸部192の各辺が、サファイアのM面に平行な3つの面（例えば（-1 010）面、（01 -1 0）面、（-1 1 00）面に平行な面の組み合わせ）で形成される。従って、図20Bに示すように、点線部195で示されるサファイアM面に対しほぼ平行な構成辺により多角形状の凹凸部190が形成され、基板面にほぼ垂直なc軸に配向して基板上に成長する六方晶系の窒化物半導体（GaN）は、c軸で $\pi/6$ 回転させた結晶方位を有するため、成長させたGaNのA面が、点線で示すサファイアのA面にほぼ平行となり、すなわち、3角形の構成辺は、GaNのM面に交叉、若しくは傾斜した基板面内方向を有するものとなる。また、3角形状の凸部192は、三角格子状に配置された形態となる。

従って、凹部若しくは凸部の構成辺若しくは境界線が、基板の上に成長させた窒化物半導体（GaN）のM面{1 -1 00}に対し、基板面内で交叉、傾斜する方向に形成されている。このことは、六方晶系の窒化物半導体の結晶成長時の安定面であるM面に傾斜したものとなる。このように、窒化物半導体の成長安定面に対し、傾斜、交叉する方向を有する構成辺若しくは境界線を少なくとも有する凹凸部が形成されることで、成長が安定し、その結果、結晶欠陥を低減させて、素子構造を積層することが可能となり、好ましい。窒化物半導体は、六方晶系に限らず、立方晶系のものを用いても良く、その場合も上記と同様に、成長安定面に対し、傾斜した方向の構成辺若しくは境界線が設けられることが好ましい。更に好ましくは、凹凸部の形状が、上記構成辺を有する多角形状若しくは、連続直線状に形成されていることで、上記結晶欠陥低減作用が好適に得られ、更に好ましくは互いに異なる方向を有する2つ以上の構成辺若しくは連続直線で構成することが、基板面内方向における成長（2次元成長）が良好となり、結晶欠陥低減作用が好適に発現される。

凹凸部190を有するサファイア基板をMOVPEにより、下記に示す素子構造を構成する各層を積層する。

(下地層 113) 凹凸部 190 を有するサファイア基板の上に、バッファ層として、510°Cにて100ÅのAl混晶比約0.1のAlGaNからなる低温成長バッファ層と、3μmのアンドープGaNの下地層を形成する。この時、下地層により凹凸部 190 が平坦化されて、下地層表面ではほぼ平坦な面となる。これらバッファ層、下地層など、素子構造を形成する下地となる層は、基板の種類、成長条件、素子構造などにより省略することができる。

バッファ層としては、具体的には Al_xGaN_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) で表される組成の層を低温成長で形成し、300°C以上900°C以下の低温で膜厚5nm～500nm程度で成長させて、その上に成長させる単結晶の成長層は、このバッファ層よりも高温で形成する。また、本実施例に示すように、凹凸部を有する基板面に形成する場合にはAl混晶比xが $0 < x < 1$ であること、好ましくは $0 < x < 0.5$ の層を形成することで平坦化が促進され、また成長不良が減少する傾向にあり好ましい。

下地層としては、具体的には Al_xGaN_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) で表される組成の窒化物半導体を、膜厚0.1μm以上10μm以下で形成する。GaNとすると結晶性が良好になる傾向にありその上の素子構造形成に好ましく、また、Al混晶比xが $0 < x < 1$ であること、好ましくは $0 < x < 0.5$ とするとピットの発生を抑えられる。また、発光波長が410nm以下の紫外域では、光吸収を押さえるためにAl混晶比xを0.1以上とすると透明な層とでき好ましい。

また、第1導電型層 11 の電極形成面（露出面）11s と基板（凹凸部 190）との距離は、好ましくは4μm以上、更に好ましくは6μm以上とすることで、光の反射・回折において、外部に光を取り出す効率を高めることができる。この時、基板は凹凸部を有していない場合にもこの効果が得られるが、特に、凹凸部 190 を有する基板を用いた場合には、第1導電型層露出面 11s からも好適に光が取り出されることができるため好ましい。

(n型層 11) 下地層 113 (図27Cの点線部より基板側) の上に、第1導電型のn型層 11 として、Siドープのn型GaN、膜厚2.7μmのn型コンタクト層（電極形成層）102と、その他のn側層 102a として、膜厚0.

3 μ mのアンドープGaN層、膜厚450 ÅのSiドープGaN層を形成する。

(活性層103) アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる井戸層(50 Å)と、SiドープしたGaNよりなる障壁層(150 Å)と、を交互に6層ずつ積層し、最後の障壁層はアンドープで形成して、総膜厚1200 Åの多重量子井戸構造(MQW)を形成する。

(p型層12) 第2導電型層12のp型層側に、活性層の上に、第1の窒化物半導体層104として、Mgドープしたp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nを200 Åで形成したキャリア閉込め層104aと、その上にMgドープGaN層104を0.

1 μ mで形成する。第1の窒化物半導体層104の上に、電流狭窄層105として、アンドープのAl_{0.4}In_{0.03}Ga_{0.57}Nを0.1 μ mの膜厚で形成する。

形成した電流狭窄層105を図25A～Cに示すように部分的に除去して開口部41を形成する。先ず、ウェハをMOCVD反応容器から取り出してCVD装置に移送してSiO₂からなる保護膜18を成膜し、フォトリソグラフィー技術により、開口部の形状に保護膜18を部分的に除去し(図25A)、続いて、ICP装置にて保護膜18の開口部の電流狭窄層5を、その第1の窒化物半導体層104の途中まで選択的に除去して、保護膜18を除去して、開口部41

(5b)と電流狭窄部5aとを有する電流狭窄層105を形成する。この時、開口部41は、図26Cに示すようなストライプ状とし、この時、ストライプ幅は約4.5 μ m、間隔約6 μ mで形成し、また図26Cに示すようにp型層12のパッド電極である第3の電極122の直下部の領域を覆うように電流狭窄部105aを形成する。

その開口部41を有する電流狭窄層105の上に、2段階目の成長として(図25C)、第2の窒化物半導体層6を形成する。ここで、第2の窒化物半導体層106として、Mgドープのp型GaN層を0.4 μ mの膜厚で形成し、その上に、第2導電型層の電極形成層として、Mgを $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたp⁺型GaNからなるp型コンタクト層107を膜厚150 Åで形成する。

また上記第1の窒化物半導体層104と第2の窒化物半導体層106のMg濃度は、ほぼ同一で $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とする。また、素子構造積層後に、p型化のために、熱処理する。

以上のようにして、素子構造となる各層を積層した後、図26A、D、図26Cに示すように、第1導電型層111の一部が露出するまでエッチングで除去し、露出面111s（n型コンタクト層の露出面102s）を形成する。続いて、図に示すように、第2導電型層122のオーミック用の電極となる第1の電極120を、第2導電型層の電極形成面12s（p型コンタクト層107の表面107s）に、p型層122の露出された側面150～154から距離160ほど離間した領域のほぼ全面を覆うように、Ni（100Å）、Au（1500Å）とを積層し、図26B、図27Cに示すように、電流狭窄部105aのほぼ直上に、ストライプ状の電極120a（23）となるように、部分的に除去する。

この時、電流拡散用23の第1の電極部120aは、ストライプ幅約2μmで、図に示すように、ストライプ上の電流狭窄部105aの直上に中央部を揃えて形成し、電流狭窄部105aのストライプ両側から1μmほど狭いストライプ状の電極部120a（23）が形成される。また、開口部41が設けられていない領域では、図に示すように、パッド用の第3の電極122に一部が重なるように第1の電極120が形成されている。続いて、n型コンタクト層表面102sにも第1導電型層111のオーミック用の電極121として、Ti（200Å）、Al（8000Å）を積層する。これら第1、2導電型層のオーミック用電極を形成した後、電極を熱処理してアニールし、更に、露出された第1、2導電型層表面111s、12s及び、露出された活性層（を含む凸部51）の側面150～154を覆う絶縁膜として、SiO₂を成膜し、続いて、第1、2導電型層のオーミック用電極表面上の絶縁膜を一部除去して、それら電極に電気的に接続するワイヤーボンディング用（パッド用）の電極として、Ni（0.1μm）、Ti（0.1μm）、Au（0.8μm）を積層して、形成する。

最後に、基板裏面を研磨して基板を薄くし、基板を分割して、1辺300μm角のLEDチップを得る。このようにして得られるLEDチップは、図26D、図27Cに示すように、発光観測面（上面、基板正面）側から観測して、電極120aの開口部（窓部）に対し、3方向の溝部194A～Cが形成され、その内1方向の溝部194Aは、開口部の長手方向若しくは電極枝120aの開口部側辺に沿うように、ほぼ平行な方向に形成され、他の2方向の溝部19

4 B、Cは、開口部の長手方向若しくは開口部側辺の方向に交叉するように形成され、これら2方向の溝部194 B、Cにより、開口部領域が、開口部の長手方向若しくは開口部側辺の方向に分断されている。また、基板表面に成長させた窒化物半導体層と、基板の凹凸部190との面方位関係は、c軸配向してC面成長した六方晶系の窒化物半導体(GaN)であり、サファイア基板と窒化物半導体成長層とはc軸で30°回転した面方位関係を有し、上記凹部(凸部)の各辺は、窒化物半導体のA面{11-20}にほぼ平行となる。

10 このようにして得られる発光素子は、発光波長400nmで、20mA時のV_fが4.0Vで、出力21.9mW、電力効率27.6%、外部量子効率35.6%となる。これは、比較例1に示す透光性の全面p電極を用いた従来の発光素子に比べて、V_fは大きくなるものの、出力は115%、電力効率は12.5%、外部量子効率は19.3%向上する。

[比較例1]

15 発光素子として、図29に示す素子構造を作製する。ここで、図29Aは、発光素子を示す平面図であり、図29BはA-A'線についての断面図である。

実施例1と同様に、基板301の上に、バッファ層(図示せず)、n型層303、活性層303まで形成した後、以下に示すp側クラッド層304、p側コンタクト層307を形成する。

(p側クラッド層304)

20 活性層303の上に、TMG、TMA、アンモニア、C_{p2}Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを5×10¹⁹/cm³ドープしたp型A_{1.02}G_{0.98}Nよりなる第1の層を40Åの膜厚で成長させ、続いて温度を800°Cにして、TMG、TMI、アンモニア、C_{p2}Mgを用いMgを5×10¹⁹/cm³ドープしたI_{n0.03}G_{0.97}Nよりなる第2の層を25Åの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第1+第2の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第1の層を40Åの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層305を365Åの膜厚で成長させる。

(p側コンタクト層307)

続いて、1050°Cで、TMG、アンモニア、C_{p2}Mgを用い、Mgを1×

$10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした GaN よりなる p 側コンタクト層を 1200\AA の膜厚で成長させる。

以上の素子構造を形成する反応終了後、実施例 1 と同様に、アニーリングを行い、p 型層をさらに低抵抗化する。

5 アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層の p 側コンタクト層 307 の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置で p 側コンタクト層 307 側からエッティングを行い、図 29 に示すように n 側コンタクト層 302 の表面を露出させ、電極形成面 302s を形成する。

10 エッティング後、最上層にある p 側コンタクト層表面 322a のほぼ全面に膜厚 200\AA の Ni と Au を含む透光性の p 側電極 311a と、エッティングにより露出させた n 型コンタクト層 302 の表面 302s には W (200\AA) と Al (2000\AA) の n 側電極 321、その n 側電極 321 の上に、Pt (200\AA)、Au (2000\AA) の n 側パット電極 324 を形成する。その露出部にある p 側電極 320 の上にボンディング用の Au よりなる p 側パット電極 322 を $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で形成し、各電極をアニールする。続いて、実施例 1 と同様に、絶縁膜を表面のほぼ全面に形成し、p 側パット電極 322、n 側パット電極 312b 上の絶縁膜の一部を除去して、ボンディング面を露出させる。ウェハをチップ状に分割して、一辺 $300\text{ }\mu\text{m}$ 角の発光素子を得る。

15 20 得られる発光素子は、発光波長 400 nm 、 20 mA 時の V_f が 3.4 V で、出力 10.2 mW 、電力効率 15.1% 、外部量子効率 16.3% となる。

[実施例 2]

実施例 1 において、基板 101 として、凹凸部 190 を設けていない基板を用いる他は、実施例 1 と同様にして発光素子を得る。得られる発光素子は、発光波長 400 nm 、 20 mA 時の V_f が 4.0 V で、出力 17.8 mW 、電力効率 22.4% 、外部量子効率 29.0% となり、比較例 1 に比べて、 V_f は大きくなるものの、出力は 75% 、電力効率は 7.3% 、外部量子効率は 29.0% 向上する。

[実施例 3]

実施例として、図14に示す発光素子を作製し、このとき、第1導電型層1をn型層、第2導電型層12をp型層として形成するが、本発明はこれに限定されずこれとは逆に、第1導電型層をp型層、第2導電型層をn型層としてもよい。

5 (基板)

基板として、C面を正面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板からなる異種基板を反応容器内にセットし、温度を510°Cにして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板上に、GaNよりなるバッファ層を200Åの膜厚で成長させる。

10 バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1050°Cまで上昇させ、1050°Cになったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープGaNよりなる下地層13aを5μmの膜厚で成長させる。図6に示すように、その下地層13aの上にストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅6μm、開口部14μmのSiO₂よりなるマスク18を0.5μmの膜厚で形成する。なお、マスクのストライプ方向はサファイアA面に対して垂直な方向とする。マスク形成後、ウェーハを反応容器に移し、1050°Cにて、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる横方向成長層13bを15μmの膜厚で成長させる。

15 以下、この下地層13の上に、図14に示すように、素子構造を作製する。

20 (反射層10)

下地層13の上に、図1に示すように、1050°Cで原料ガスにTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアガスを用いアンドープのAl_{0.5}Ga_{0.5}N(A層10a)、原料ガスをTMG、アンモニアガスとしてアンドープのGaN(B層10b)、を交互に3対積層して(A/B/A/B/A/B)、反射層10を形成する。この時、各層の膜厚はλ/(4n)である。

(発光素子構造) 反射層10を形成した後、1050°Cで原料ガスにTMG、アンモニアガスを用いてSiドープのGaN、3μmのn型コンタクト層2、以下同様にして、

活性層3:Siを5×10¹⁸/cm³ドープしたIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障

壁層 (100 Å)、アンドープの $In_{0.11}Ga_{0.89}N$ よりなる井戸層 (50 Å)、
障壁層／井戸層／障壁層／井戸層／障壁層／井戸層／障壁層の順に積層して総
膜厚 550 Å の多重量子井戸構造 (MQW)

5 p 側クラッド層 (第 1 の窒化物半導体層 4) : Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープ
した p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 、膜厚 4 nm の第 3 の層、Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$
ドープした $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ 、膜厚 2.5 nm の第 4 の層とを、1 対として、
交互に 5 層ずつ、5 対積層して、最後に第 3 の層を積層した超格子構造の多層
膜

電流狭窄層 5 : アンドープの $Al_{0.1}In_{0.03}Ga_{0.87}N$ 、100 nm

10 以上を積層下後、図 4 に示すように、マスク 18 を設けてエッチングして一部
を除去し、図 14 に示すようにストライプ状の開口部 41 を、幅 2 μm、長さ
200 μm で形成する。この時、開口部 41 は、図に示すように、横方向成長
層の低欠陥領域 A 内に配置する。

15 次に、p 側コンタクト層 (第 2 の窒化物半導体層 6) として、Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN を 1 μm の膜厚で形成する。

20 続いて、n 型コンタクト層を一部露出させて電極形成面とし、p 型コンタクト層表面に Ni・Au を含む透明電極 (第 1 の電極 20) を膜厚 20 nm、幅 3 μm、長さ 210 μm で、開口部 41 の全面を覆うストライプ領域を除いて形成する。露出させた n 型コンタクト層に W と Al を含む n 電極 21 を形成する。また、各電極にパッド電極 22、23 を設ける。

25 さらに、p 型コンタクト層 6 表面で、上記ストライプ領域の窓部 40 に、ZnO₂ を上記条件式の膜厚で透光性膜 30 を形成する。このようにして得られた発光素子チップを、図 9A に示すように、リード電極 501 の反射部 502 のカップ内に、ダイボンディングし、透光性樹脂 (エポキシ樹脂、屈折率 1.5) でモールドして、ランプ型の発光装置とする。

[実施例 4]

図 26 の平面図及び図 27 の A-A' 線の断面構造、B-B' 線の断面構造に示す発光素子を元に実施例 4 について説明する。

サファイア (C 面) よりなる基板 101 を MOVPE の反応容器内にセット

し、水素を流しながら、基板の温度を1050°Cまで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

(バッファ層) 続いて、温度を510°Cまで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層(図示せず)を約100オングストロームの膜厚で成長させる。
5

(下地層113) バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温度を1050°Cまで上昇させる。1050°Cになつたら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層120を2μmの膜厚で成長させる。この下地層113の上に、第1導電型層11となるn型層側を形成する。
10

(n型層102[第1導電型層111]) 続いて1050°Cで、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを4.5×10¹⁸/cm³ドープしたGaNよりなるn型層102を、n型層としてn側電極を形成するn側コンタクト層として、厚さ3μmで成長させる。

15 (活性層103) 次に、SiドープGaNよりなる障壁層を50Åの膜厚で成長させ、続いて温度を800°Cにして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を50Åの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を4層、井戸層を3層、交互に積層して、総膜厚350Åの多重量子井戸構造よりなる活性層103を成長させる。活性層の上に、下記に示す第2導電型層12としてp型層側を形成する。
20

(p側キャリア閉込め層[第1の窒化物半導体層4内の1層]104a) 次に、TMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを5×10¹⁹/cm³ドープしたAl_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp側キャリア閉込め層104aを、膜厚100Åで成長させる。
25

(第1p型層104[第1の窒化物半導体層]) 続いて、TMG、アンモニア、Cp₂Mgを用い、p型不純物をドープしたGaNよりなる第1p型層104を0.1μmの膜厚で成長させる。

(電流阻止層105) 続いて、TMG、TMA、TMI、アンモニアを用い、

アンドープの $Al_{0.4}In_{0.05}Ga_{0.55}N$ よりなる電流狭窄層 105 を膜厚 60 \AA で成長させる。

5 続いて、反応装置からウエハを取り出し、電流通過部 5a を形成して、電流阻止層を電流阻止マトリクス層とする。この工程について、図 25 (a) ~ (c) を用いて、以下説明する。

10 先ず、ウエハを CVD 装置にセットし、図 25 (a) に示すように、電流阻止層 5 の上に、 SiO_2 からなるマスクを形成した後、フォトリソグラフィー技術により部分的にマスクを除去する。次に、 ICP 装置にて、エッチングによりマスク 13 開口部の電流阻止層 5 を選択的に除去し、図 25 (b) に示すように、電流阻止マトリクス層 5a と、電流通過部 5b とを形成する。ここでは、電流通過部 5b を形成する際に、図 27 に示すように、電流阻止層 105 下の第 1 p 型層 104 を、約 200 \AA の深さで一部除去する。続いて、図 25 (c) 15 に示すように、第 2 p 型層（電流拡散層、第 2 の窒化物半導体層） 6 などを形成し、素子構造の上に、選択的に発光部 40 が設けられた電極枝 20a を形成する。この時、電流阻止マトリクス層 105 は、電流通過部 105b の幅を約 3 μm 、電流阻止部 105a の幅を約 5 μm とし、図 26C、図 27 に示すように、ストライプ状の電流阻止部 105a と電流通過部 105b とを、交互に設ける。

20 (第 2 p 型層 [第 2 の窒化物半導体層 106]) ウエハを MOVPE の反応容器内にセットし、電流阻止マトリクス層 105 を形成した上に、2 段階目の成長をさせて、以下の第 2 p 型層を形成する。先ず、第 2 p 型層として、 Mg ドープの GaN からなる p 側層 106a を、膜厚 0.1 μm の膜厚で形成する。

25 続いて、第 2 p 型層として、上記 p 側層 106a の上に、電流拡散層 106 となる p 側層を成長させる。電流拡散層 106 は、アンドープの $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなる A 層を 25 \AA の膜厚で成長させ、続いて、 Mg ドープの GaN よりなる B 層を 25 \AA の膜厚で成長させ、 A 層、 B 層を交互に 100 回繰り返し、総膜厚 0.5 μm の超格子多層膜を形成する。

最後に、第 2 p 型層として、表面に p 側電極を形成する p 側コンタクト層 107 を形成する。 p 側コンタクト層 107 は、電流拡散層 106 の上に、 Mg

を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした p 型 GaN を 150 \AA の膜厚で成長させる。 p 側コンタクト層 107 は電極を形成する層であるので、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも低いと電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。さらにコンタクト層の組成を GaN とすると、電極材料と好ましいオーミックが得られやすくなる。

以上の素子構造を形成する反応を終了した後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 700°C でアニーリングを行い、p 型層をさらに低抵抗化する。素子構造を形成したウェハを装置から取り出し、以下に説明する電極形成工程を実施する。

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層の p 側コンタクト層 122 の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE (反応性イオンエッチング) 装置で p 側コンタクト層 107 側からエッチングを行い、図 26、27 に示すように n 側コンタクト層 102 の表面を露出させて、電極形成面 102s を形成する。この時、図 26A～C に示すように、n 型層露出面 102s (第 1 導電型層露出面 11s) 形成により、ストライプ状の電流通過部 105b の端部が、露出された p 型層、活性層側面 (凸部 51 側面) 150～154 の一部に、達するように設けられ、もう一方の端部は、側面部分に電流阻止部 105a が設けられて、電流通過部 105b を閉塞させている構造としている。すなわち、図 26C に示すように、電流通過部 105b の側面 151～153 周縁部において、その側面に閉塞して電流阻止部 105a が形成されている結合部 181 が設けられ、他方、側面 150、151 の周縁部において、その側面に開口する開口部 (窓部) 140 が設けられた構造となっている。更に、p 側パット電極形成部 122 直下の領域 122a は、図 26C の点線で囲まれた領域 122a、図 27B の点線で囲まれた領域 122a に示すように、電流阻止部 105a が形成された構造となっている。

n 側電極形成面を露出させた後、図 25D に示すように、第 2 p 型層 6、ここでは p 側コンタクト層 107 表面に (第 2 導電型層 12 の表面 12s)、オーミック接触用の p 側電極 120a を、電流通過部 105b に対応して、選択的

に電極が除去されて p 側電極形成面が露出させて発光部 140 を形成する。ここでは、 p 側電極 120a として、 Ni (100 Å)、 Au (1300 Å) を順に積層して、 Ni/Au よりなる p 側電極 120a を形成する。また、この p 側電極 120a は、第 2 p 型層 6、 p 側コンタクト層 107 にオーミック接触させたオーミック電極であり、且つ電流をパッド部から第 2 導電型層表面 12s 面内に拡散させるように、側面 150~154 方向に延伸させた拡散電極 23 となる。この時、図 26A、B に示すように、形成された電極枝 120a は、ストライプ状の発光部（窓部 140 ）の幅を約 5 μm 、ストライプ状の電極枝 120a の幅を約 3 μm とし、ストライプ状の発光部と電極枝を交互に形成する。発光部 110 は、図に示すように、その直下に電流通過部 105b を設け、発光部のストライプ幅を、電流通過部のストライプ幅よりも大きくし、直下の電流通過部の周縁を囲むように、その電流通過部より大きな発光部を形成し、電流通過部の周縁に沿って電極枝を形成する。また、発光部 110 を囲む、若しくは挟む電極枝 120a は、ストライプ状の発光部において一方の端部 171 が電極 120 で結合され、各電極枝 120a を接合し、もう一方の端部 170 は、各電極枝が離間されるように開口された形状とする。また、図 26、27B に示すように、 p 側パット電極 122 が形成される領域には、 p 側電極 120 を一部だけ形成し、 p 側パット電極 122 を、 p 側コンタクト層表面 107s の上に形成して、一部を p 側電極 120 の上にわたって形成して、電気的に導通させる。この時、 p 側パット電極 122 が設けられる p 側コンタクト層表面 107s は、電極 122 とコンタクト層 107 とはオーミック接触させずに、ショットキー障壁が両者の間に形成されて、パット電極 122 形成部からは、直接素子内部に電流が流れずに、電気的に接続された電極枝を通って、電流を素子内部に注入する構造となる。

続いて、 n 側コンタクト層 102 の露出させた電極形成面 102s （第 1 導電型層の電極形成面 11s ）に、 n 側電極 121 として Ti (200 Å)、 Al (8000 Å) を積層して形成する。ここで、 n 側電極 121 は、 n 型層 11 、 n 側コンタクト層 102 にオーミック接触させたオーミック電極となる。オーミック用の p 側電極 120a 、 n 側電極 121 を形成した後、熱処理でアニー

ルして、各電極をオーミック接触させる。この時得られるp側のオーミック電極120は、活性層の発光をほぼ透過しない不透光性膜となる。

5 続いて、上記p側電極120a、n側電極121の一部、若しくは全部を除く表面全体に、すなわち、電極形成面102s、122a及びn側電極形成面露出時の側面などの素子表面全体に、SiO₂よりなる絶縁膜（図示せず）を形成する。絶縁膜形成後、絶縁膜から露出したp側電極120a、n側電極121の表面に、それぞれボンディング用のパッド電極を形成して、各オーミック用の電極に電気的に導通させる。p側パット電極122、n側パット電極1124は、各オーミック用の電極の上に、Ni (1000 Å)、Ti (1000 Å)、Au (8000 Å)を積層して、それぞれ電気的に接続して形成する。

10 最後に、基板を分割して、1辺の長さが300 μmのLEDチップを得る。

得られるLED素子は、発光波長470 nmの純青色発光で、比較例2の透光性電極をp側コンタクト層のほぼ全面に形成した発光素子に比べて、1.4倍の発光強度のものとなる。

15 [比較例2]

比較例1において、活性層までを実施例4と同様な素子構造とし、活性層から上の層の積層及び、積層後の電極構造などは、比較例1と同様として、発光素子を得る。得られる発光素子は、実施例4と同様に発光波長470 nmの純青色発光であり、20 mA時のV_f 3.3 V、出力8.73 mW、電力変換効率13.1%のLEDが得られる。

20 [実施例5]

実施例1の発光素子において、活性層を以下に示すものとする他は、実施例1と同様にして発光素子を作製する。

(活性層103)

25 SiドープGaNよりなる障壁層を50 Åの膜厚で成長させ、続いて温度を800 °Cにして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる井戸層を50 Åの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸……+障壁の順で障壁層を4層、井戸層を3層、交互に積層して、総膜厚350 Åの多重量子井戸構造よりなる活性層103を成長させる。

得られる発光素子は、発光波長400nmで、比較例1に比べて、1.6倍の発光強度のものとなる。また、動作電流20mA時の動作電圧(V_f)3.7V、出力14.2mW、電力変換効率19.1%であり、比較例2に比べて、V_fは大きくなるものの、出力が62%、電力変換効率が6%向上する。

5 また、参考例として、比較例2において、電極構造を実施例4と同様な構造とした発光素子では、20mA時のV_fが比較例2とほぼ同じ3.4Vであり、出力が20%向上して10.5mWであり、電力変換効率が15.5のものが得られる。

10 また、軸状(第2導電型層表面11sにほぼ垂直な方向)における出力を比較したところ、比較例2は0.71mW/srであり、これに比べて、本実施例5の出力は86%向上した1.32mW/srであり、また上記参考例では22%向上した0.87mW/srである。

[実施例6]

15 実施例5において、電流狭窄層105のストライプ状の開口部41(電流通過部105b)の幅を、3μm、6μm、9μmと変化させる他は、実施例5と同様にして発光素子を得る。この時、電流阻止部5aの幅は同一とする。得られる発光素子は、幅3、6、9μmの発光素子特性において、電流密度(A/cm²)が、それぞれ95、65、55であり、出力(mW)が、それぞれ13.1、13.9、13.8である。このことにより、電流通過部105b(開口部5b)の幅が狭くなると、電流密度が大きくなつて出力が低下する傾向が観られ、これは電流阻止部5aと通過部5bとの面積比(5a/5b)が大きくなることにより、電流密度が増加し、一方光の取り出しにおいて、通過部(開口部41)5bに対応してそれよりも幅広に設けられる窓部40の面積、若しくは電極が形成された遮光領域の面積に対する比が小さくなることで出力が低下するものと考えられる。また、幅が広くなると、電流密度が小さくなつて出力が向上する傾向が観られ、上記幅9μmでは開口部中央部分が暗部となり、電流の回り込みが不十分なことにより中央部分下方に位置する活性層での発光がすくなることに依るものと考えられる。

20 このため、好ましい電流通過部のストライプ幅は、3μm以上9μm以下、

更に好ましくは4 μ m以上8 μ m以下とする。

[実施例7]

実施例7として、図28に示す発光素子を作製する。

実施例4と同様に、基板101の上に、バッファ層（下地層）113、n型

5 層102（第1導電型層111）、活性層203、p側キャリア閉込め層（第1の窒化物半導体層4内の1層）104a、電流阻止マトリクス層105a、p側層106a、p側電流拡散層106、p側コンタクト層107を積層して素子構造を形成する。この時、電流阻止マトリクス層105aの形状は、実施例1と異なり、図28Dに示すように、側面150～154に達しない長さでストライプ状に電流通過部105b（開口部41）を形成し、外周縁電極部172の内部に形成し、長手方向を発光部の縦方向（A-A'線に垂直な方向）に平行とし、縦方向に配列された複数の発光部の列（1列）に対して、1つの電流通過部105bを設ける。電流通過部の幅は、実施例1と同様に、約3 μ mとする。

10 15 続いて、実施例4と同様に、n型層102の一部を露出させて、電極形成面102sを形成し、n側電極形成面102s、p側電極形成面107sに、それぞれオーミック用のn側電極121、p側電極120aを形成する。この時、

実施例4と異なり、p側電極120aは、格子状に電極枝を形成し、ドット状の発光部（窓部）140が格子間に配列された形状とし、更にn側電極形成面102sを露出させたことにより形成されたp側層、活性層側面の周縁部150～154には、その周縁に沿って、外周縁電極部172が設けられ、この外周縁電極部172の内部に格子状の電極枝、ドット状の発光部が配置された形状とする。すなわち、実施例4と異なり、電極が側面の周縁部150～154に開口する開口部（窓部）140を設けずに、全ての電極枝が周縁部で結合された結合部となるように、外周縁電極部172（図28C内のハッチングされた領域）が設けられた形状とする。また、発光部の幅、電極枝の幅は、実施例1と同様に、それぞれ約5 μ m、約3 μ mで形成し、実施例4のストライプ状の発光部を複数の発光部に区切るように、電極枝が格子状に形成される。この区切られた発光部の長さは、約8 μ mとし、各発光部の長手方向における間隔

は、電極枝の幅である $3 \mu m$ とする。すなわち、縦 $8 \mu m$ 、横 $5 \mu m$ の長方形の発光部が、幅 $3 \mu m$ の電極枝を介して離間されて、縦横に配列された形状となる。

次に、実施例 1 と同様に、絶縁膜（図示せず）を設けて、絶縁膜の開口部に、
5 p 側パット電極 122、n 側パット電極 124 を形成する。この時、実施例 4 と異なり、p 側パット電極 122 の直下の領域にも、パット電極が形成されない領域と同様に、発光部 140、電極枝 120a が形成される。また、オーミック用の n 側電極 121 は、図 28A に示すように、活性層側面 150～154 を囲むように形成する。また、実施例 4 と異なり、図 28B、D に示すように、
10 p 側パット電極 122 の直下にも、電流阻止部 105a と電流通過部 105b が設けられた構造とする。

最後に、図 28A に示すように、基板 101 が露出するまでエッチングして露出面 101a をチップ形状に設け、実施例 4 と同様にチップ状にウエハを分割して発光素子を得る。

得られる発光素子は、実施例 4 に比較して、電極枝が p 型層を覆う面積が大きいため、発光部の面積を小さくし、p 型層表面からの光取りだし効率が減少する。また、実施例 4 に比して、p 側電極 120a に外周縁電極部 172 が設けられているため、各電極枝への電流の分散ができるものの、同一面側に正負一対の電極が設けられた発光素子において、n 側電極近傍の側面 150 近傍にも外周縁電極部が形成されること、すなわち、実施例 4 に比べて、近傍の側面 150 に近い電極面積が大きくなるため、近傍の側面 150 への電流集中傾向が大きくなり、p 型層表面における発光むらが実施例 4 よりも発生しやすい傾向にある。また、電流阻止マトリクス層が、実施例 4 に比べて、近傍の側面 150 において電流阻止部が形成されており、電流阻止部は、第 1 p 型層、第 2 p 型層よりも屈折率の小さい窒化物半導体を有することから、発光領域から側面 150 付近の p 型層表面方向へ伝搬する反射させる傾向にあり、
20 光取りだし効率が低下する傾向にある。

[実施例 8]

実施例 1 で得られる発光素子チップを、図 9C に示す C A N タイプのパッケ

ージに実装して、更に、その発光素子の発光で励起する蛍光体をパッケージ内部に一部充填、スプレーコーティングして、白色光の発光装置を作製する。

先ず、実施例1の発光波長400nmのLEDチップを、基体507に載置して、装置外部から電力を供給する電極端子となるリート電極と、LEDチップとを、発光装置内部で、ワイヤーボンディングにより電気的に接続する。続いて、蛍光体として、 $(\text{Sr}_{0.93}, \text{Eu}_{0.06}, \text{Mn}_{0.02})_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$ 蛍光体を用意する。ここで、この蛍光体は、365nmの励起により色度座標が $(x, y) = (0.418, 0.400)$ となるものである。この蛍光体の粉体を、アルキルシリケートと高沸点有機溶剤とを所望の割合で混合してなるシリカゾル中に分散させた塗布液とし、図10に示すように発光素子表面（露外面、側面、裏面）及び／又は基体表面にスプレーコーティングして、300°Cで2時間乾燥し、色変換層100をチップ表面などに形成する。この時、LEDチップは基体に設けられた凹部内に載置されても良い。次に、パッケージ内の水分を十分に排除した後、中央部に光を取り出す硝子窓部509を有する封止体508（リッド）にてシーム溶接して封止する。

このようにして得られる発光装置は、上記蛍光体が、250～430nmの波長域の励起光により、特に好ましくは350～400nmの波長域で励起されることで、発光素子の発光の少なくとも一部で励起されて、白色発光する発光装置となる。

20 [実施例9]

図1に基づいて、面発光型のレーザ素子の実施例を以下に示す。

C面を正面とする2インチΦのサファイアからなる基板1の上に、下地層13として、510°Cにて100ÅのAl混晶比約0.1のAlGaNからなる低温成長のバッファ層と、3μmのアンドープGaNからなる下地層を形成し、その上に、反射層10として、 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ （A層10a）／アンドープのGaN（B層10b）を1対として、交互に5対積層し、各層の膜厚をλ／(4n)で形成する。

反射層の上に素子構造として、以下に示す層を積層する。n型層2として、Siドープの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる膜厚2μmのn型コンタクト層を形

成し、その上に活性層3として、アンドープの $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなる井戸層(50Å)と、SiドープしたGaNよりなる障壁層(150Å)と、を交互に6層ずつ積層し、最後の障壁層はアンドープで形成して、総膜厚1200Åの多重量子井戸構造(MQW)を形成し、その上にp型層12として、Mgドープしたp型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ を200Åで形成したキャリア閉込め層と、その上にMgドープGaN層(第1の窒化物半導体層4)を0.1μm、その上に電流狭窄層5として、アンドープの $Al_{0.4}In_{0.03}Ga_{0.57}N$ を0.1μmの膜厚で形成し、エッチングにより一部を層4が露出する深さで除去して、約10μmφの開口部41を設け、続いて、電流狭窄層5及び開口部41の上に、埋込層(第2の窒化物半導体層6)として、Mgドープのp型GaN層を0.4μmの膜厚で形成し、その上にMgを $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ドープしたp⁺型GaNからなるp型コンタクト層を膜厚150Åで形成する。

続いて、n電極を形成するn型層を円環状に露出させ、窓部30として、p型層12の上に、SiO₂/TiO₂の誘電体多層膜からなる反射層を12μmφで開口部41の直上に中心を同じにして形成し、その窓部の周囲を囲む円環状のp電極(Ni/Au)を形成し、更に凸部51を囲む円環状露出面2sに円環状n電極(Ti/AI)を形成して、さらにこれら正負電極に電気的に接続するボンディング用の電極をそれぞれ形成して、面発光型のレーザ素子とする。得られるレーザ素子は、窓部から波長405nmの連続発振するレーザ光となる。

本実施例では、下地層を設けたが上述したように省略可能であり、更に、n型層11として、n型コンタクト層を形成したが、反射層10をn型層として形成することもでき、更にそのn型導電性の反射層10の途中までエッチングで露出して電極形成面2s設けること、すなわちn型コンタクト層を兼ねることもできる。さらに、窓部に誘電体多層膜の反射膜を用いたが、半導体多層膜を用いることもでき、更に、半導体多層膜をp型層に用いて、例えば、電流狭窄層の上に、埋込層(第2の窒化物半導体層6)の上、若しくは埋込層(第2の窒化物半導体層6)を兼ねてp型導電性の半導体多層膜を形成することができる。また、面発光型のレーザ素子を基板上に複数配列したアレイ状の面発光

素子とすることもできる。

[実施例 10]

電流狭窄型のレーザ素子とする実施例として、図1に基づいて以下説明する。

実施例3と同様にして、基板1の上に、下地層13として、低温成長バッファ層、ELOG層、 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ バッファ層を形成し、下地層13の上に、以下に示す素子構造を形成する。ここで、この下地層は、省略することもでき、また、ELOG層などの欠陥低減層は、n型層とすることもでき、また、素子構造、例えばn型コンタクト層、n型クラッド層を兼ねることもできる。

n型層11として、下地層の上に、4μmのSiドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなるn型コンタクト層、その上に25Åのアンドープの $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ と25ÅのSiドープしたGaNとを交互に200回積層した超格子多層膜よりなる光閉込めのクラッド層、クラッド層の上に0.15μmのアンドープのGaNよりなるn型光ガイド層を形成する。

n型層11の上に、活性層3として、140ÅのSiドープ $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなる障壁層(B)と、50Åのアンドープ $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなる井戸層(W)とを、(B)／(W)／(B)／(W)の順に積層して最後に、140Åのアンドープ $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなる障壁層を積層して、総膜厚約470Åの多重量子井戸構造(MQW)を形成する。

活性層3の上にp型層12として、100ÅのMgドープ $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ よりなるp側キャリア閉込層、その上に0.15μmのアンドープGaNよりなるp側光ガイド層(第1の窒化物半導体層4)、その上に0.1μmのアンドープ $Al_{0.4}In_{0.05}Ga_{0.5}N$ よりなる電流狭窄層5を形成し、約2μmのストライプ状の開口部41を電流狭窄層5に設け、その上に、25Åのアンドープ $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ と25ÅのMgドープGaNとを交互に90回繰り返して積層し膜厚0.45μmの超格子多層膜からなるp型光閉込めクラッド層(第2の窒化物半導体層)を埋込層として開口部41及び電流狭窄層5の上に形成し、その上に150ÅのMgドープしたp型GaNを形成して素子構造とする。

ここでは、光閉込め層と光ガイド層とを別々に設けた導波路構造(SCH構

造) としたが、第1, 2導電型層側のいずれか、若しくは両方のガイド層を省略して、光閉込めとキャリア閉込めとを担うクラッド層を設けた導波路構造とすることもできる。また、クラッド層とコンタクト層とを別々に設けたが、コンタクト層を省略してクラッド層がコンタクト層を兼ねる構造であっても良い。

5 n 型層を一部露出させて電極形成面2s、ここでは n 型コンタクト層、を設け、 n 型層、 p 型層の表面に、それぞれ n 電極、 p 電極を形成し、更に、各電極に電気的に接続するボンディング用の電極をそれぞれ設ける。ここで、 p 電極は、図1とは異なり、開口部41及び電流狭窄部の直上を覆うように設ける。

10 電極形成に続いて、ウエハをチップ状に分割して端面発光型のレーザ素子をえる。ここで、上記 n 電極形成面露出時、若しくは別工程において、活性層端面を露出させ、共振器面を設けても、ウエハをチップ状に分割する際に分割面を共振器面として形成しても良く、出射側と反射側で分割面(例えば、窒化物半導体、GaNのM面、A面などの劈開面でも可能)、エッチング端面と異なる端面を形成する方法でも、いずれの方法でも良く、共振器面を形成して、更に15 それら共振器面に、反射膜若しくは保護膜を設けても、設けなくても良い。ここでは、 n 電極形成面露出時に、エッチング端面で共振器面を形成し、反射膜として、 SiO_2 と TiO_2 からなる誘電体多層膜を出射側、反射側に設ける。

得られるレーザ素子は、電流狭窄層によるストライプ状の開口部41により20 ストライプ状の導波路が設けられ、発振波長405nmのレーザ素子となる。

本実施例では、電流狭窄型のレーザ素子としているが、上記素子構造を形成して、エッチングによりストライプ状のリッジ導波路を形成して、屈折率導波路を設けても良く、例えば上記素子構造において電流狭窄層表面が露出する深さでエッティングして、すなわち活性層よりも上でリッジを形成して実効屈折率による導波路を設けても良い。このとき、リッジの幅は、開口部の幅よりも狭くしても、25 ほぼ等しくしても、広くしても良く、好ましくは、広くして、電流通過路の幅と異なり、それよりも幅広な屈折率導波路が形成されることで好適な端面発光型レーザ素子が得られる。この時、リッジの側面は、窒化物半導体を成長させて、反転型、i型、半絶縁性の埋込層を形成しても良く、その他の屈折率差を有する材料であっても良く、例えば SiO_2 以外の材料、好ましくは Ti 、 V 、 Zr 、 N

b、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlNの内の少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でもZr、Hfの酸化物、BN、SiCを用いることが特に好ましい。

5 また、この実施例では、電流狭窄層のストライプ状の開口部は、端面に達するものとしているが、共振器面のいずれか一方の端面近傍、好ましくは、出射側の端面近傍に電流狭窄部を設ける、すなわち、端面に達しない長さで、端面に開口しない開口部を設けても良く、このように開口部が設けられると端面での光吸収を抑えて、端面（出射側）付近を非電流注入部としたレーザ素子とすることもできる。例えば、端面から $1\text{ }\mu\text{m}$ ～ $10\text{ }\mu\text{m}$ を電流狭窄部として形成することができる。

10 [実施例 1 1]
15 実施例 1において、基板に設けられた凹凸部の形状は、図 3 3 の 1 9 5 A と同様とし、三角形状の凸部 1 9 2 A の大きさを大きくし、図 2 6 D に示す電極開口部の窓部の長手方向（電極枝 1 2 0 a）1 9 6 にほぼ平行な溝部 1 9 4 A が、電極枝 1 2 0 a の直下に位置し、隣り合う溝部 1 9 4 A の間隔が電極開口部の間隔と等しくなるようにして、発光観測面側から溝部 1 9 4 A が各電極枝 1 2 0 a に隠れるようにする他は、実施例 1 と同様にして、発光素子を得る。得られる発光素子は、窓部長手方向に沿う溝部 1 9 4 A による光取り出し作用が軽減され、更に、実施例 1 に比して、出力が低下する傾向にあり、更に、窓部長手方向に傾斜する方向の溝部 1 9 4 B, C の内、一方を設けない形状とすると、溝部 1 9 4 による光取り出し作用が軽減と、構成辺の長さの総和が低下することにより、更に光出力が低下する傾向が観られる。

25 産業上の利用の可能性

本発明により得られる窒化物半導体発光素子は、発光面上方への光を積極的に、かつ効率的に取り出すことが可能となり、光取り出し効率向上、高出力化が可能な発光素子が得られる。また、電流狭窄構造を 1 つ、若しくは複数設けた構造となるため、微少領域の開口部に集中して電流を活性層に注入する構造

とでき、高速応答性に優れた発光素子とでき、光通信に好適に利用できるものとなる。また、一方で、窒化物半導体は、p型のキャリアを高濃度でドープした層が形成できず、面内の電流拡散が困難であったが、第2導電型層をp型層とすることで、電流狭窄層が面内への電流路を拡散する電流拡散の機能を担い、
5 発光効率に優れた発光素子とできる。

請 求 の 範 囲

1. 基板の上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、前記第1導電型、i型、若しくは半絶縁性の第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

10 前記第2導電型層の上に、窓部と第1の電極とが部分的に形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

2. 前記窓部に透光性膜が形成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

15 3. 前記第3の窒化物半導体層が $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y \leq 1$) からなることを特徴とする請求項2記載の窒化物半導体発光素子。

4. 前記基板が第1の正面と第2の正面とを有し、前記第1導電型層が第1の正面の上に設けられ、第1の正面若しくは第2の正面に、反射層が設けられていることを特徴とする請求項2記載の窒化物半導体発光素子。

20 5. 前記反射層が、基板と活性層との間に設けられ、 $Al_\alpha Ga_{1-\alpha}N$ ($0 \leq \alpha \leq 1$) からなる組成の異なる層を複数積層した多層膜であることを特徴とする請求項4記載の窒化物半導体発光素子。

6. 前記透光性膜若しくは窓部を p-n 接合面に投影した像が、電流狭窄層の開口部を投影した像の少なくとも一部と重なるように、設けられていることを特徴とする請求項1乃至5記載の窒化物半導体発光素子。

7. 前記第1の電極が透光性であり、該電極の上に、電気的に接続された第2の電極を有することを特徴とする請求項6記載の窒化物半導体発光素子。

8. 前記透光性膜若しくは窓部、及び/又は、前記電流狭窄層の開口部、が複数設けられていることを特徴とする請求項7記載の窒化物半導体発光素子。

9. 前記第1導電型層の一部が露出されて電極が形成され、第1導電型層の電極と第2導電型層の電極とが基板の同一面側に設けられると共に、第1導電型層の電極が、第1導電型層の一部を露出されることで設けられた前記活性層及び第2導電型層を含む凸部を、囲むように形成されていることを特徴とする請求項8記載の窒化物半導体発光素子。

10. 基板の上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、前記第1導電型、i型、若しくは半絶縁性の第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

前記第2導電型層の上に、窓部と第1の電極とが部分的に形成され、

基板の上に前記活性層及び第2導電型層を含む凸部が形成され、前記電流狭窄層が該凸部のほぼ全ての側面を囲むように設けられていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

11. 基板の上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、前記第1導電型、i型、若しくは半絶縁性の第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

前記第2導電型層の上に、窓部と第1の電極とが部分的に形成され、

基板の上に前記活性層及び第2導電型層を含む凸部が形成され、前記電流狭窄層が該凸部の少なくとも1つの側面において、側面の少なくとも一部に開口する開口部を有することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

12. 前記凸部の角部、若しくは隅部の少なくとも1つに電流狭窄層が設けられていることを特徴とする請求項11記載の窒化物半導体発光素子。

13. 前記第2導電型層の上に、窓部と第1の電極とが部分的に形成されていることを特徴とする請求項10乃至12記載の窒化物半導体発光素子。

14. 窓部をp-n接合面に投影した像が、電流狭窄層の開口部を投影した像の少なくとも一部と重なるように、設けられていることを特徴とする請求項15記載の窒化物半導体発光素子。

15. 前記第3の窒化物半導体層が $Al_xIn_{1-x}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y \leq 1$) からなることを特徴とする請求項14記載の窒化物半導体発光素子。

16. 前記開口部が複数設けられていることを特徴とする請求項15記載の窒化物半導体発光素子。

17. 前記凸部が、第1導電型層の一部を露出させることにより、該露出面より上方に突出して設けられると共に、露出面に電極が形成され、該電極が凸部の側面に沿って形成されていることを特徴とする請求項16記載の窒化物半導体発光素子。

18. 前記凸部側面の内、第1導電型層の露出面に形成されたボンディング用の電極に対峙する側面には、電流狭窄層が設けられ、他の側面の一部には、該側面の少なくとも一部に開口する開口部が設けられていることを特徴とする請求項17記載の窒化物半導体発光素子。

19. 前記p-n接合面への開口部と第1の電極の像において、第1の電極の像の少なくとも一部が、少なくとも1つの開口部の像に重なるように、第1の電極、開口部が設けられていることを特徴とする請求項18記載の窒化物半導体発光素子。

20. 前記開口部の像の1つに対して、該開口部の像を複数の領域に区切るように、前記開口部の像を架橋する第1の電極が設けられていることを特徴とする請求項19記載の窒化物半導体発光素子。

21. 前記第1の電極の少なくとも一部を覆って、第1の電極の上に、透光性膜が形成されていることを特徴とする請求項20記載の窒化物半導体発光素子。

22. 前記開口部が長手方向を有し、前記第1の電極の少なくとも一部が、

該長手方向に沿って、設けられていることを特徴とする請求項 2 1 記載の窒化物半導体発光素子。

2 2. 基板の上に、第 1 導電型の窒化物半導体層を有する第 1 導電型層と、活性層と、第 1 導電型と異なる第 2 導電型の第 1 の窒化物半導体層を有する第 2 導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第 2 導電型層が、第 1 の窒化物半導体層の上に、第 2 の窒化物半導体層を有すると共に、該第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、前記第 1 導電型、i 型、若しくは半絶縁性の第 3 の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

10 前記第 2 導電型層の上に、窓部と第 1 の電極とが部分的に形成され、

前記第 3 の窒化物半導体層が、 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y \leq 1$) を有することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

2 3. 前記第 1 の窒化物半導体層、若しくは第 2 の窒化物半導体層が、前記第 3 の窒化物半導体層の $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ よりも、III 族の構成元素数が少ない窒化物半導体を有することを特徴とする請求項 2 2 記載の窒化物半導体発光素子。

2 4. 前記第 3 の窒化物半導体層の $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ が、アンドープであることを特徴とする請求項 2 2 又は 2 3 記載の窒化物半導体発光素子。

2 5. 基板の上に、第 1 導電型の窒化物半導体層を有する第 1 導電型層と、活性層と、第 1 導電型と異なる第 2 導電型の第 1 の窒化物半導体層を有する第 2 導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第 2 導電型層が、第 1 の窒化物半導体層の上に、第 2 の窒化物半導体層を有すると共に、該第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、第 3 の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

25 前記第 3 の窒化物半導体層が、第 2 導電型の不純物を有することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

2 6. 基板の上に、第 1 導電型の窒化物半導体層を有する第 1 導電型層と、活性層と、第 1 導電型と異なる第 2 導電型の第 1 の窒化物半導体層を有する第 2 導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

前記第3の窒化物半導体層が、第2導電型の不純物を有し、前記第2の窒化物半導体層が、前記第3の窒化物半導体よりも第2導電型の不純物濃度が大きいことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

27. 基板の上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

10 前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

前記第3の窒化物半導体層が、InとAlとを含む窒化物半導体であり、前記第2の窒化物半導体層が、第2導電型の不純物濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

28. 基板の上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

前記第3の窒化物半導体層が、InとAlとを含む窒化物半導体であり、第1の窒化物半導体層にはAl混晶比が小さい窒化物半導体層とその下方にAl混晶比が大きなAlを含む窒化物半導体からなるエッチングストップ層を有することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

29. 基板の上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層が、第1の窒化物半導体層の上に、第2の窒化物半導体層

を有すると共に、該第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、

前記電流狭窄層は開口部を有し、

5 前記第2導電型層上にはボンディング用の電極と、該ボンディング用電極に電気的に接続して第2導電型層上に延伸した拡散用の電極と、該拡散用電極は開口部に窓部を有し、

前記電流狭窄層は、前記ボンディング用電極の直下に電流狭窄部を有することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

10 30. 前記第3の窒化物半導体層が、第1導電型の不純物を含まないことを特徴とする請求項25乃至29のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

31. 前記第3の窒化物半導体層が、 $A_{1-x}In_xGa_{1-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $x + y \leq 1$) であることを特徴とする請求項25乃至29のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

15 32. 前記第1の窒化物半導体層、若しくは第2の窒化物半導体層が、前記第3の窒化物半導体層の $A_{1-x}In_xGa_{1-y}N$ よりも、III族の構成元素数が少ない窒化物半導体を有することを特徴とする請求項31記載の窒化物半導体発光素子。

20 33. 前記窒化物半導体発光素子が、電極開口部の窓部と、活性層よりも基板側と、に反射層を有する面発光型のレーザ素子であることを特徴とする請求項22乃至29のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

34. 前記窒化物半導体発光素子が、ストライプ状の電流狭窄層開口部に対応した導波路を有する端面発光型レーザ素子であることを特徴とする請求項22乃至29のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

25 35. 基板主面上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

前記第2導電型層の上に、オーミック用の第1の電極と、電極開口部である窓部とが部分的に形成され、

前記基板の主面には、凹凸部が設けられると共に、前記窓部領域内で、該凹

部と凸部との境界が設けられて、複数の凸部領域が形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

36. 基板主面上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

5 前記第2導電型層の上に、オーミック用の第1の電極と、電極開口部である窓部とが部分的に形成され、

前記基板の主面には、凹凸部が設けられると共に、前記窓部領域内で、該凹部と凸部との境界線若しくは凸部の構成辺の方向が、前記窓部の長手方向に傾斜して形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

10 37. 基板主面上に、第1導電型の窒化物半導体層を有する第1導電型層と、活性層と、第1導電型と異なる第2導電型の第1の窒化物半導体層を有する第2導電型層と、が積層された構造を有する窒化物半導体発光素子において、

15 前記第2導電型層の上に、オーミック用の第1の電極と、電極開口部である窓部とが部分的に複数形成され、

前記基板の主面には、凹凸部が設けられると共に、前記窓部領域内で、該凹部と凸部との境界線若しくは凸部の構成辺の方向が、前記窓部の配列方向に傾斜して形成されていることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

20 38. 前記凹部と凸部との境界線若しくは凸部の構成辺の方向が、互いに異なる2つ以上の方向を有することを特徴とする請求項35乃至37のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

39. 前記凹部と凸部との境界線若しくは凸部の構成辺の方向が、窓部の配列方向若しくは窓部の長手方向に平行な方向も有することを特徴とする請求項35乃至37のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

25 40. 前記窓部が、窓部の長手方向に傾斜した配列方向に複数配列されていることを特徴とする請求項35乃至37のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

41. 前記第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との間に、開口部を含み、第3の窒化物半導体層を含む電流狭窄層を有し、前記窓部直下に電流

狭窄層の開口部が形成されていることを特徴とする請求項35乃至37のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

42. 前記第1導電型層の一部が露出されていることを特徴とする請求項35乃至37のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

5 43. 前記請求項1, 10, 11, 22, 25~29のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子と、発光素子からの発光スペクトルの少なくとも一部を変換する蛍光物質とを有する発光装置であって、主発光波長が360nm以上の紫外領域の発光スペクトルの一部を変換する蛍光物質として、Mg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される1種を含むMで代表される元素と、少なくともMn、Fe、Cr、Snから選択される1種を含むM'で代表される元素とを有するEuで附活されたアルカリ土類金属ハロゲンアパタイト蛍光体を有することを特徴とする発光装置。

10 44. 前記アルカリ土類金属ハロゲンアパタイト蛍光体が、 $(M_{1-x-y}Eu_xM'_y)(PO_4)_6Q_2$ で表される蛍光体（ただし、MはMg、Ca、Ba、Sr、Znから選択される少なくとも1種と、M'はMn、Fe、Cr、Snから選択される少なくとも1種と、Qはハロゲン元素のF、Cl、Br、Iから選択される少なくとも1種とを有する。0.0001 ≤ x ≤ 0.5、0.0001 ≤ y ≤ 0.5である）であることを特徴とする請求項43に記載の発光装置。

20 45. 前記蛍光物質は発光素子からの発光スペクトルの少なくとも一部を吸収し、2以上の発光ピークを持った発光スペクトルを発し、蛍光物質の発光スペクトルは少なくとも一部が互いに補色となる蛍光であることを特徴とする請求項42又は43に記載の窒化物半導体発光素子。

25 46. 前記活性層、第2導電型層を含む凸部が設けられると共に、長手方向を有する複数の凸部領域が設けられていることを特徴とする請求項1, 10, 11, 22, 25~29のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

47. 前記凸部の面積と凹部の面積との比（[凸部面積] / [凹部面積]）が、3以上であることを特徴とする請求項35乃至37のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

48. 前記凹凸部の構成辺若しくは境界線の基本単位5の面積当たりの長さの総

和 ([長さの総和 (μ m)] / [基本単位の面積 (μ m²)])) が、3 以上であることを特徴とする請求項 3 5 乃至 3 7 のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子。

1 / 19

図1

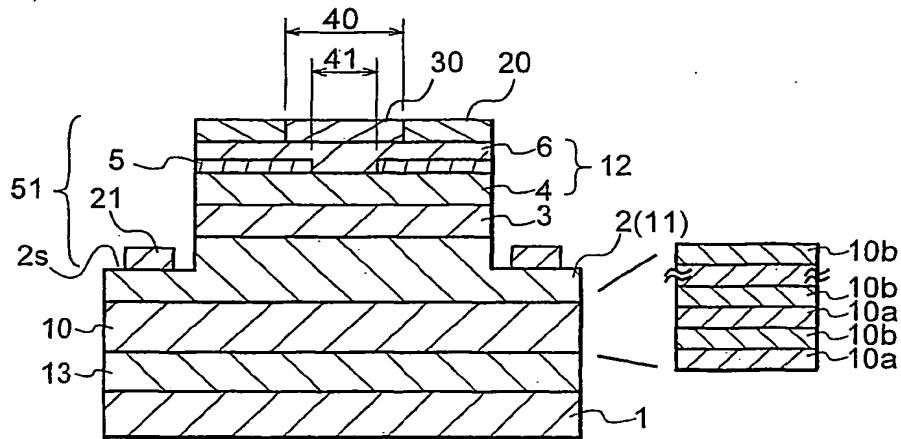


図2

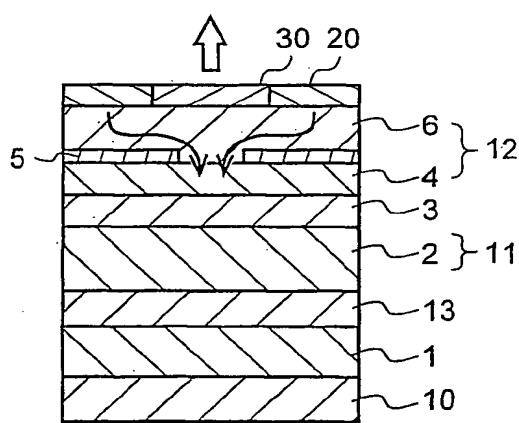


図3A

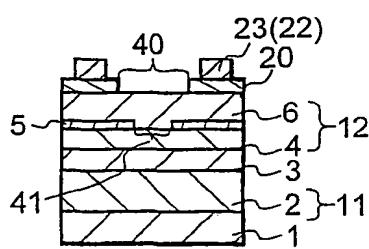


図3B

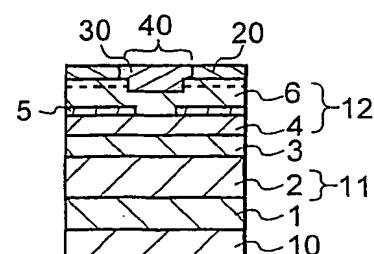
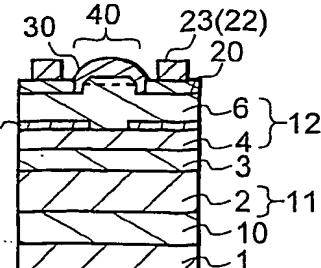


図3C



2 / 19

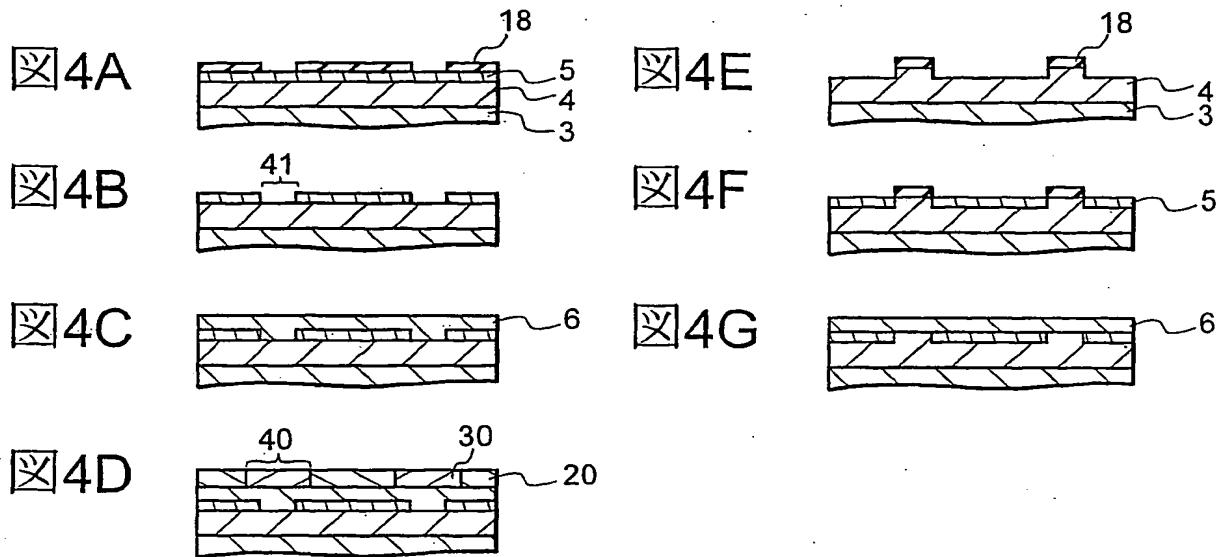
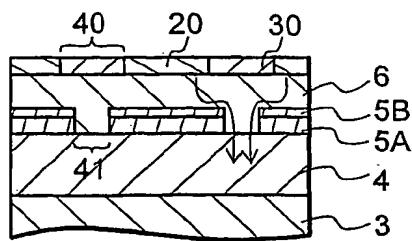


図5



3 / 19

図6A



図6B

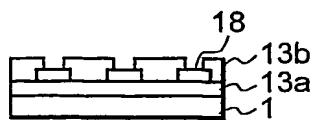


図6C

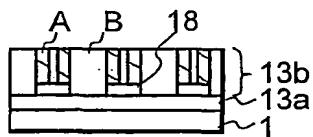


図6D

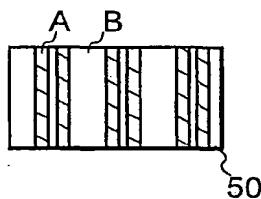


図6E

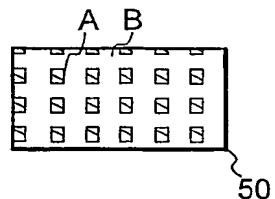


図7A

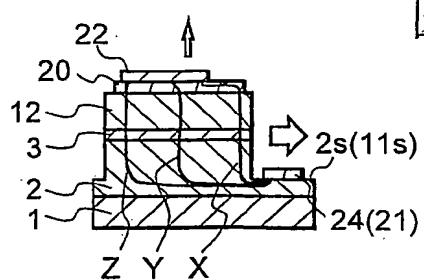


図7B

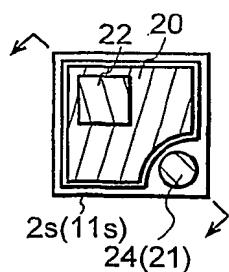


図7C

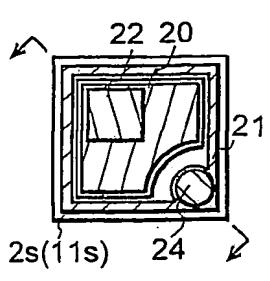
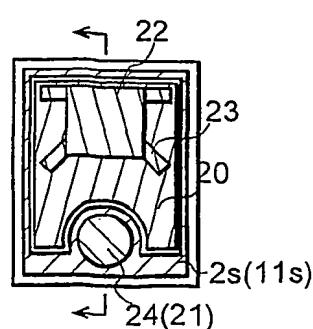
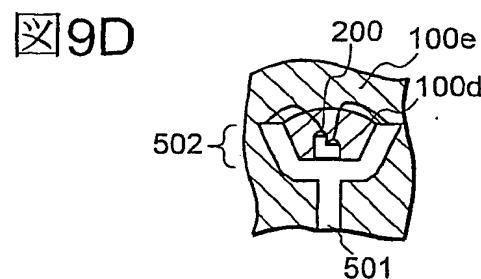
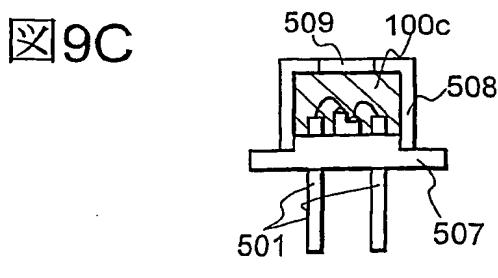
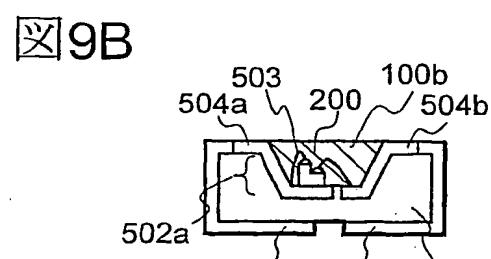
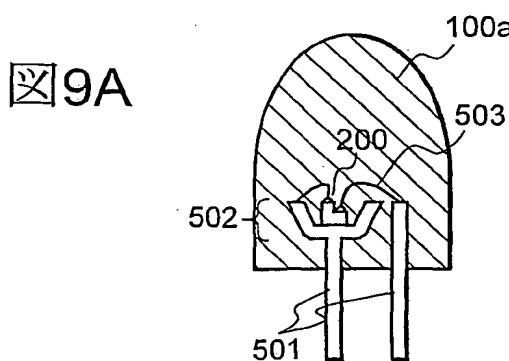
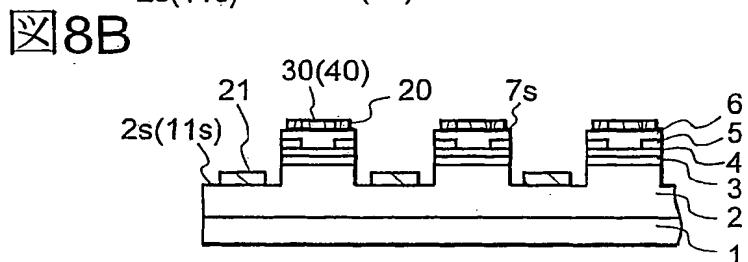
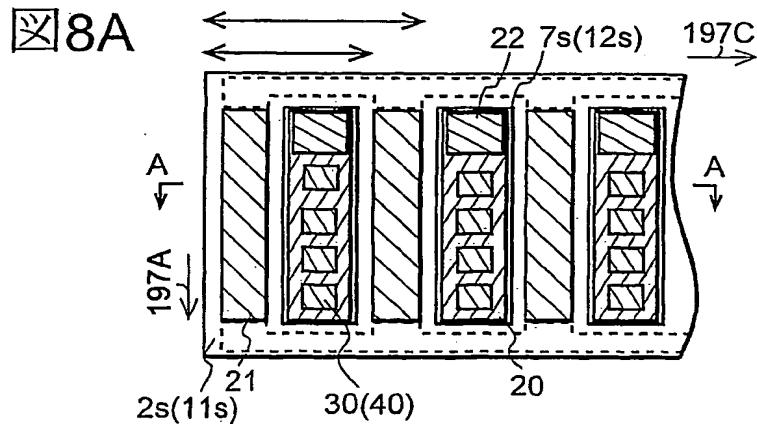


図7D



4 / 19



5 / 19

図10A

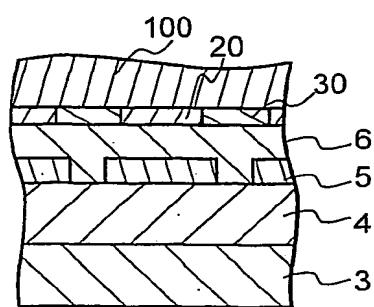


図10B

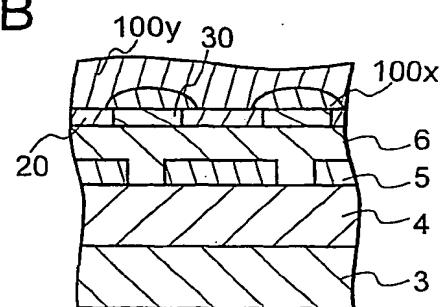


図11A

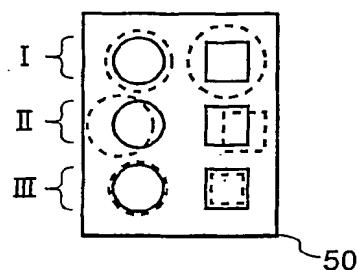


図11B

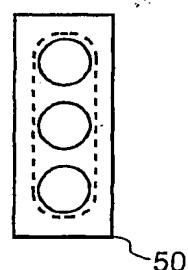


図11C

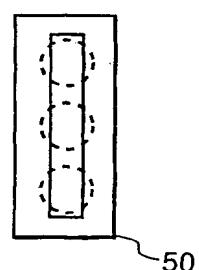


図11D

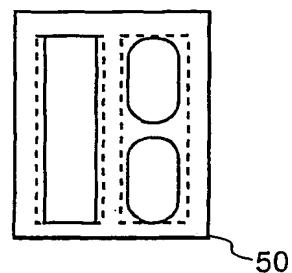


図11E

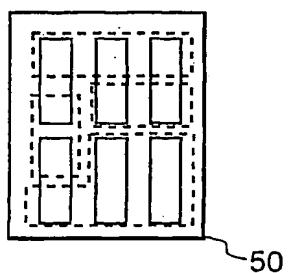


図11F

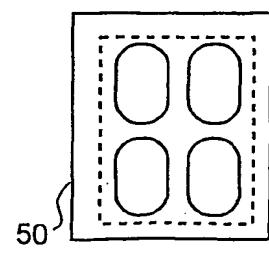


図12A

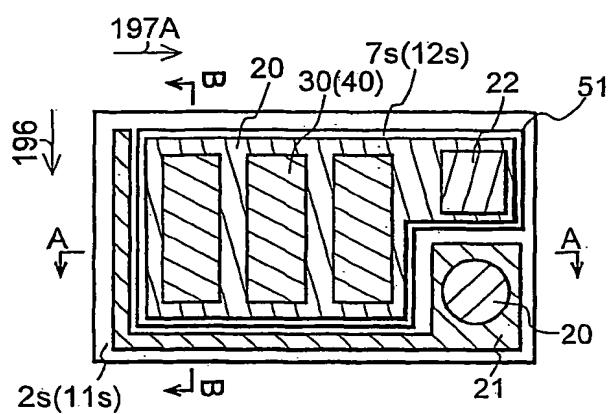


図12B

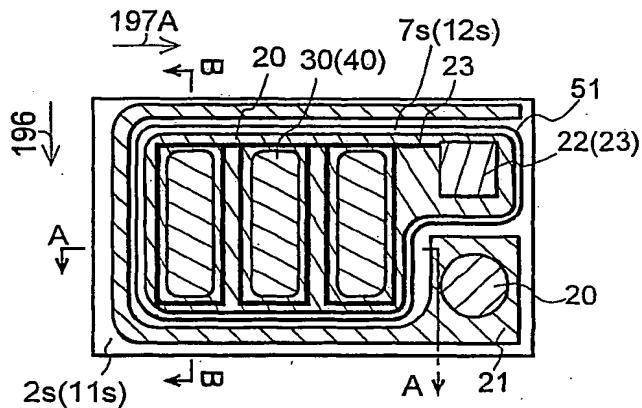
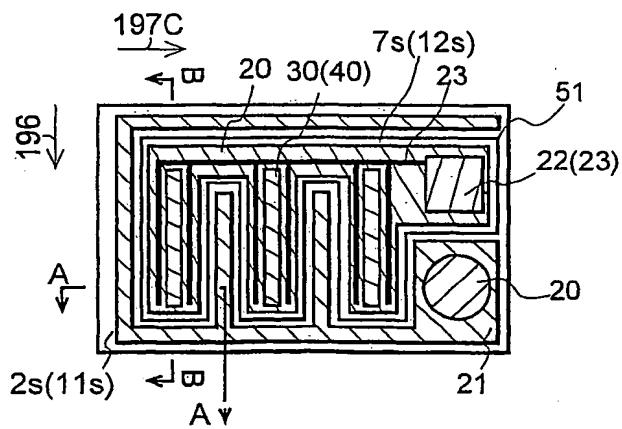


図12C



7 / 19

図13A

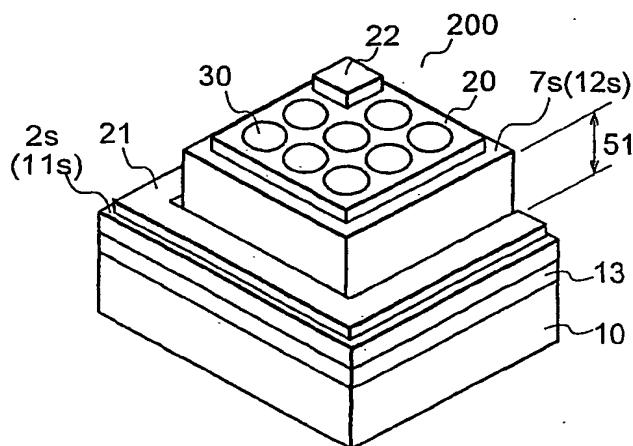


図13B

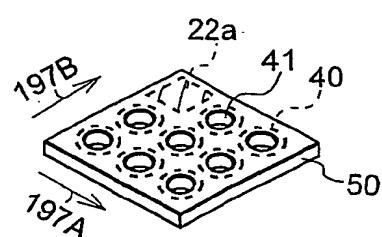


図14A

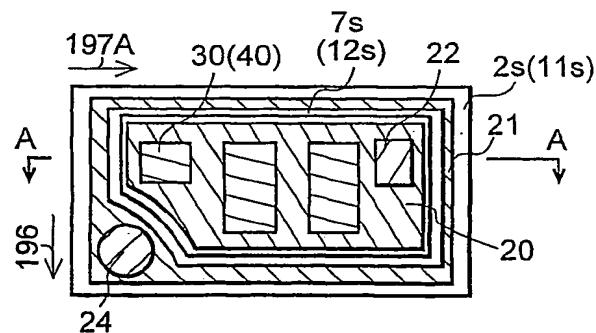
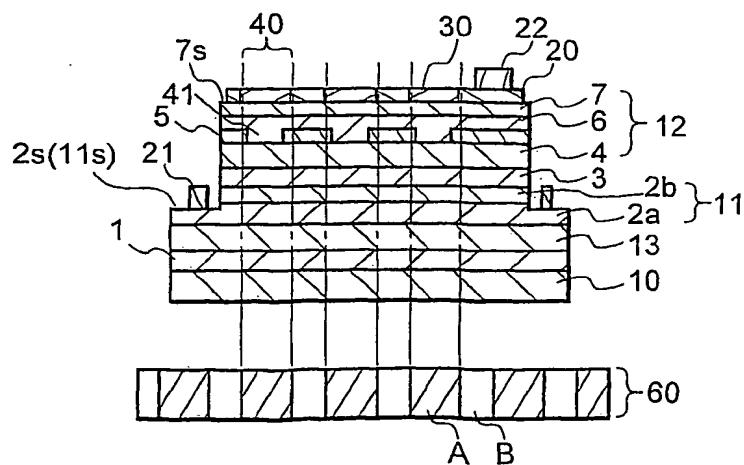


図14B



8 / 19

図15A

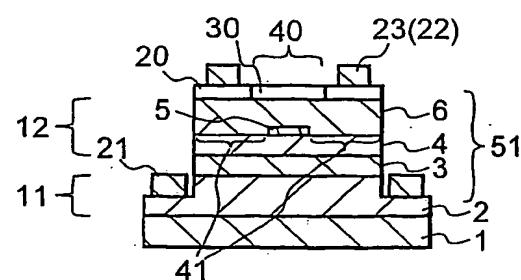


図15B

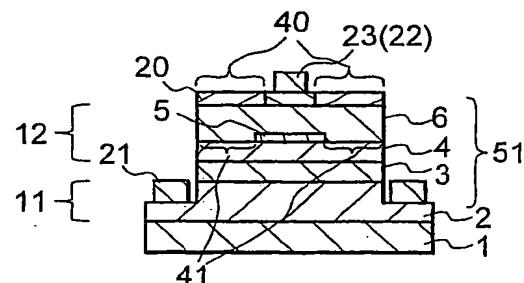


図16A

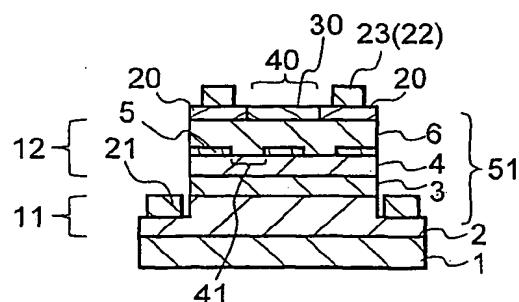
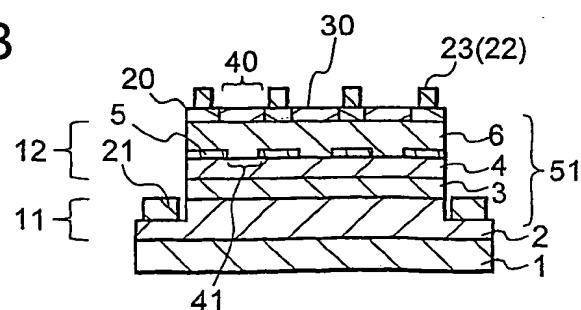


図16B



9 / 19

図17A

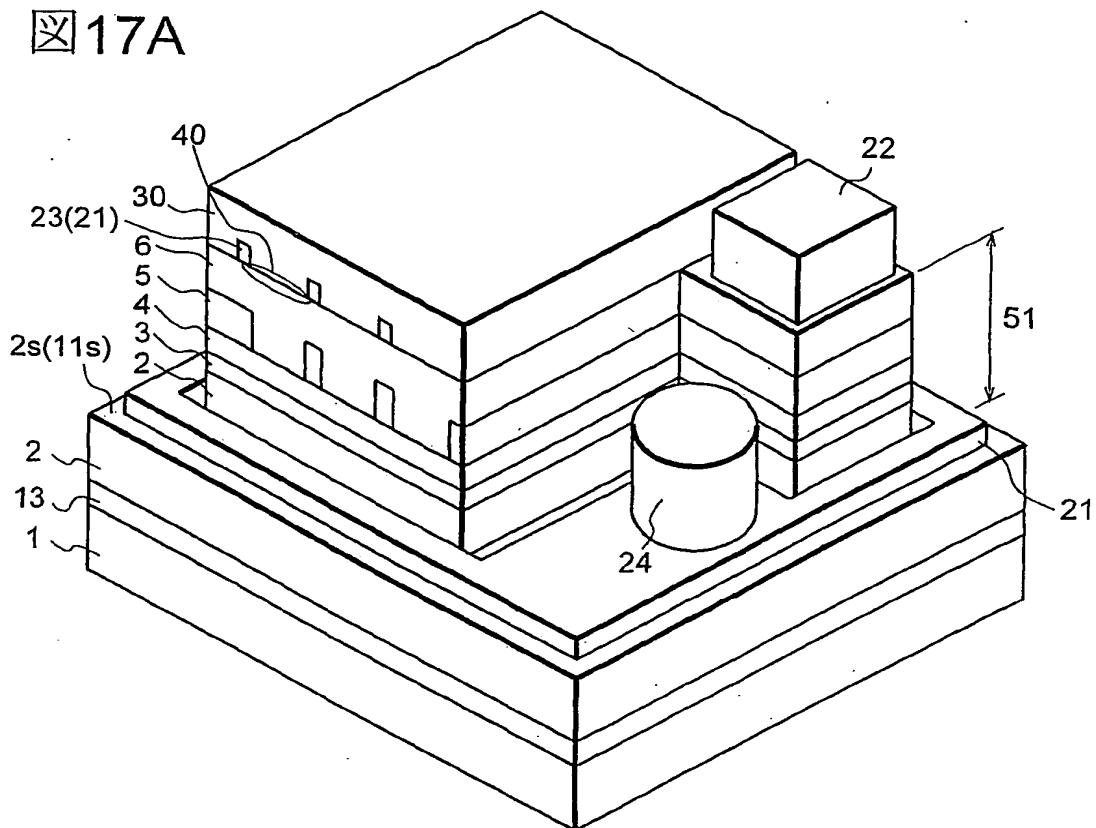
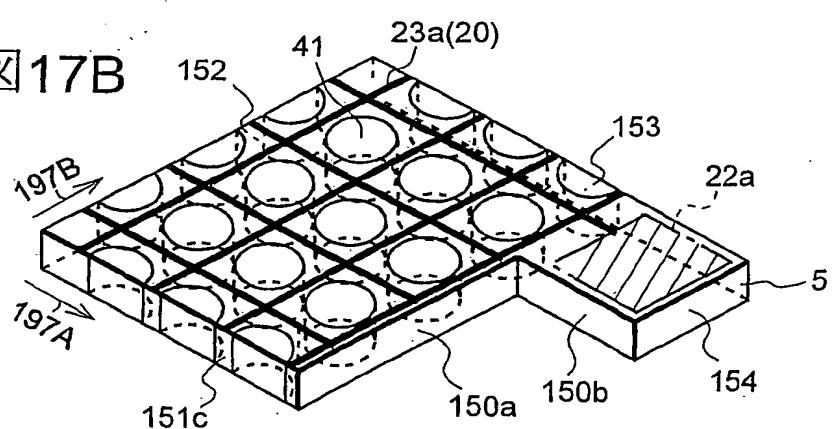


図17B



10 / 19

図18A

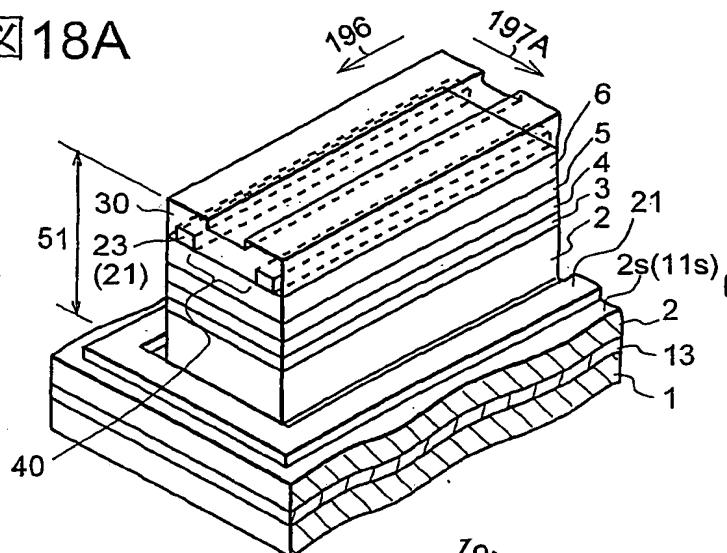


図18B

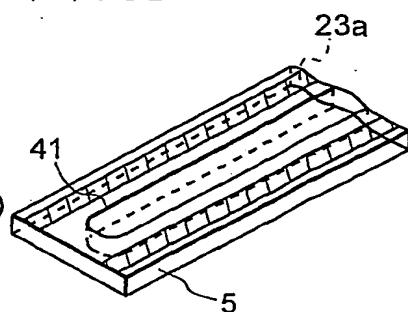


図18C

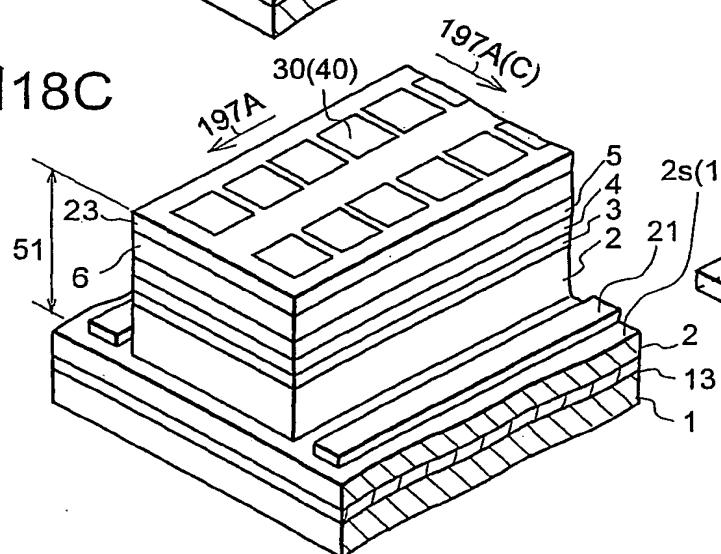


図18D

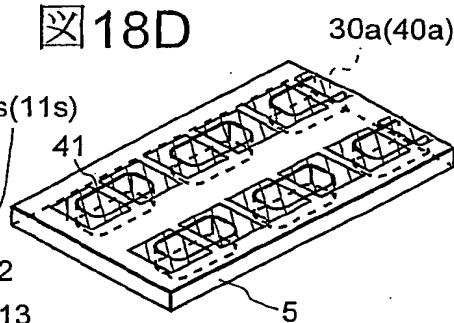


図19A

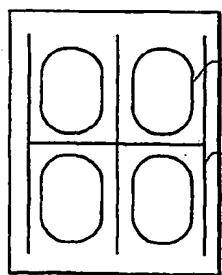


図19B

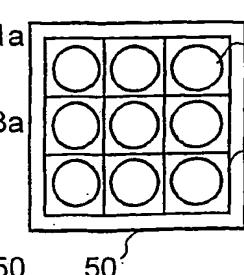


図19B

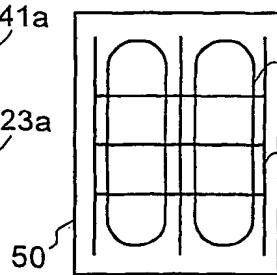
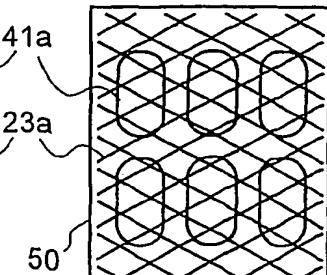


図19B



11/19

図20A

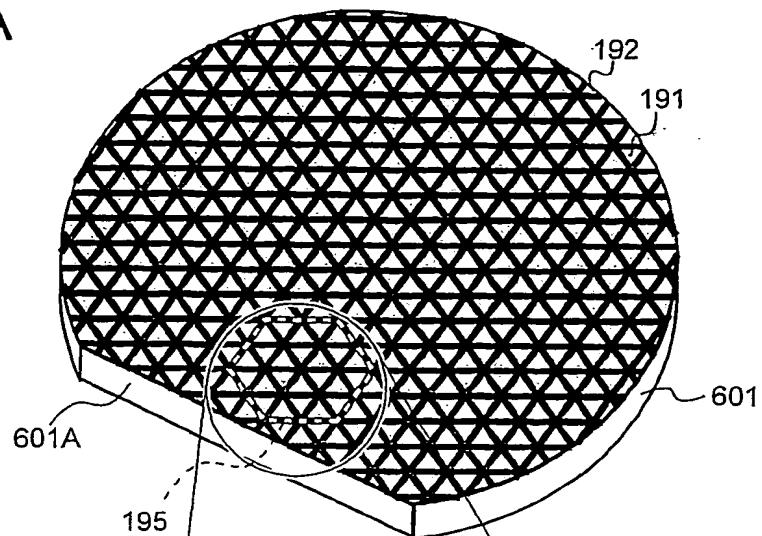
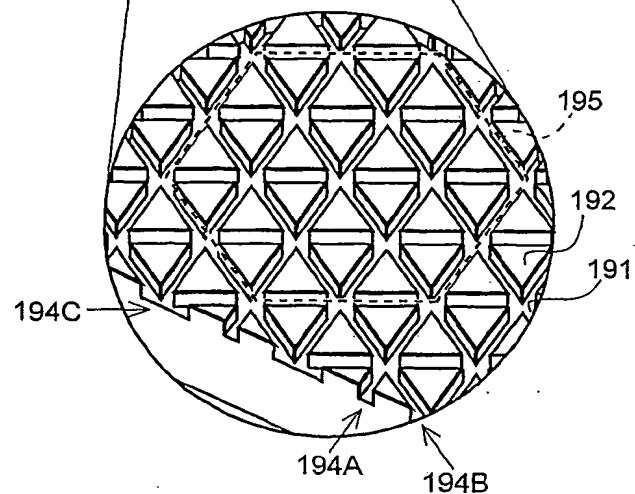


図20B



12 / 19

図21

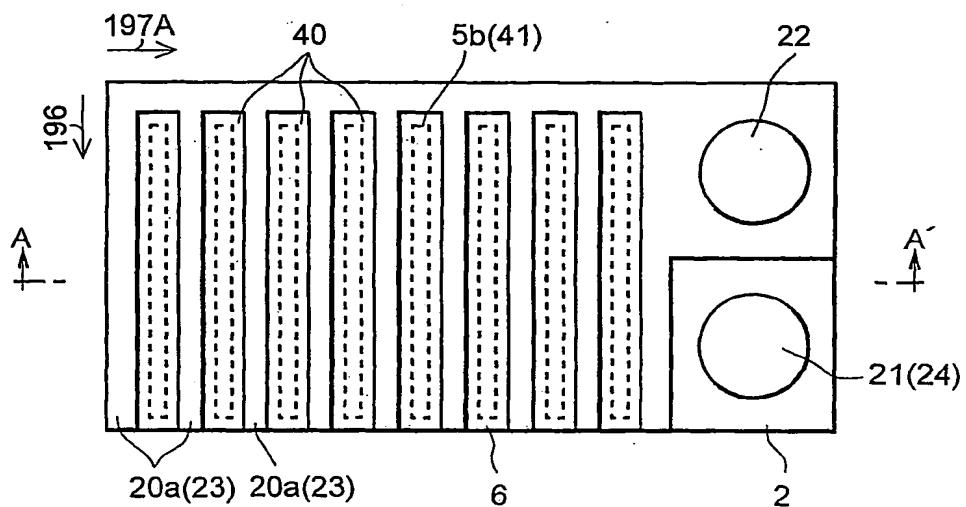
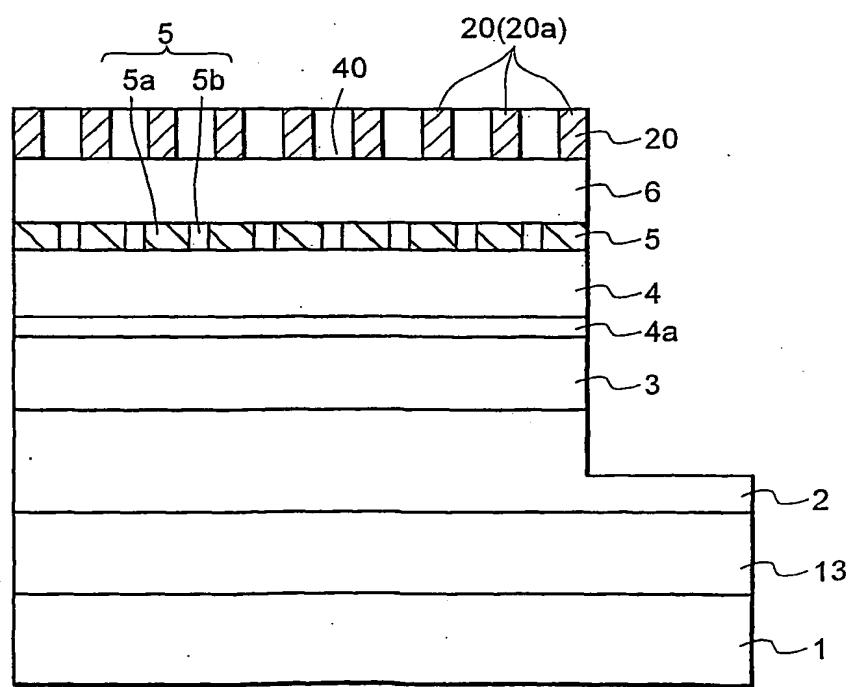


図22



13 / 19

図23

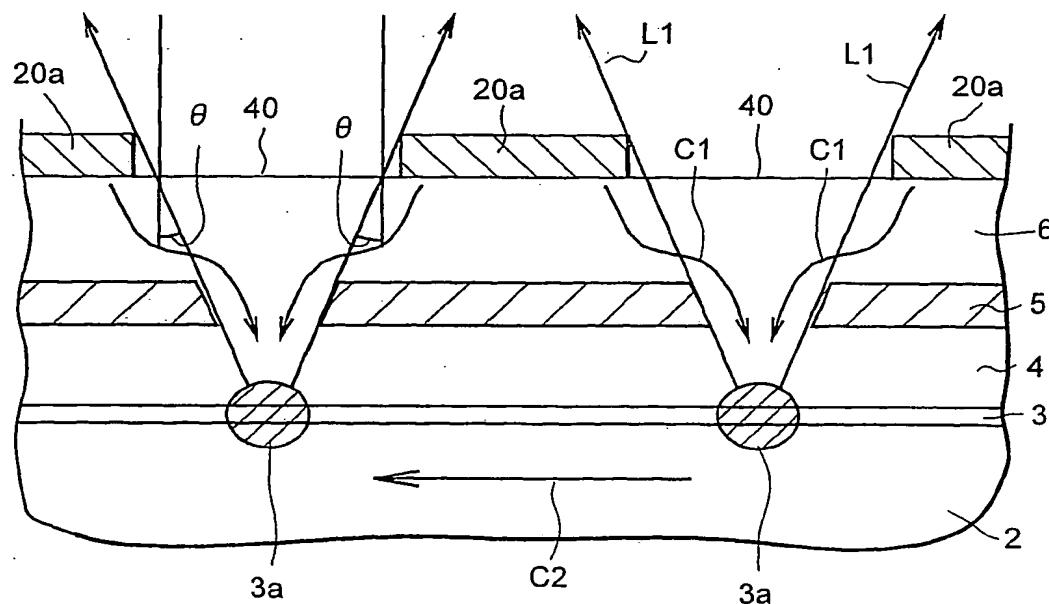
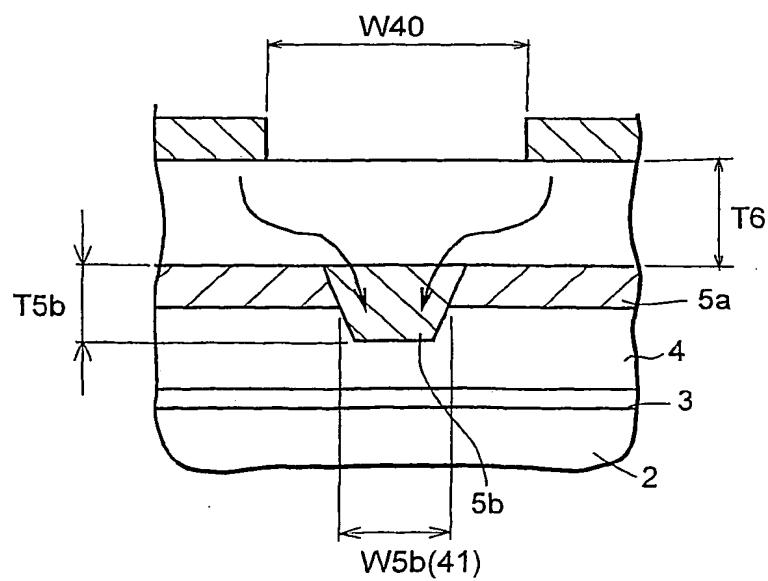


図24



14 / 19

図25A

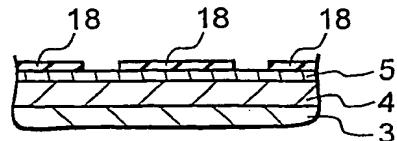


図25E

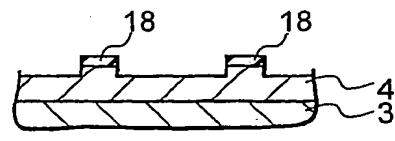


図25B

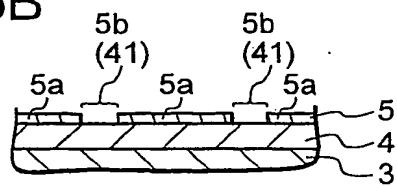


図25F

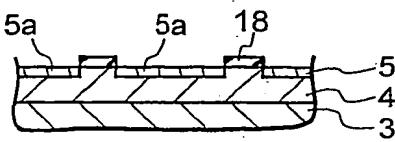


図25C

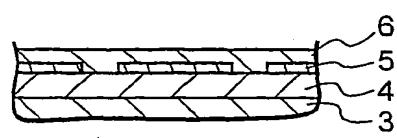


図25G

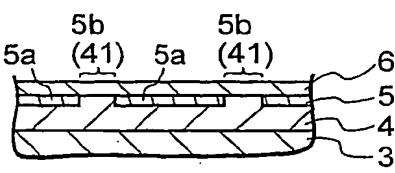
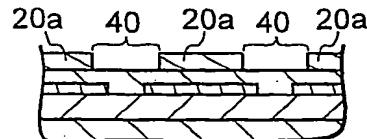


図25D



15 / 19

図26A

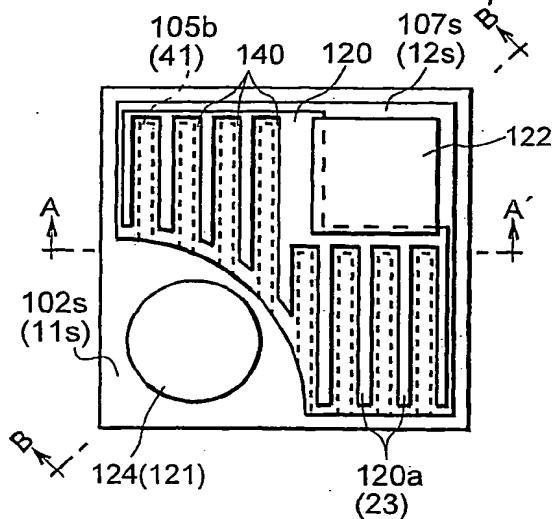


図26B

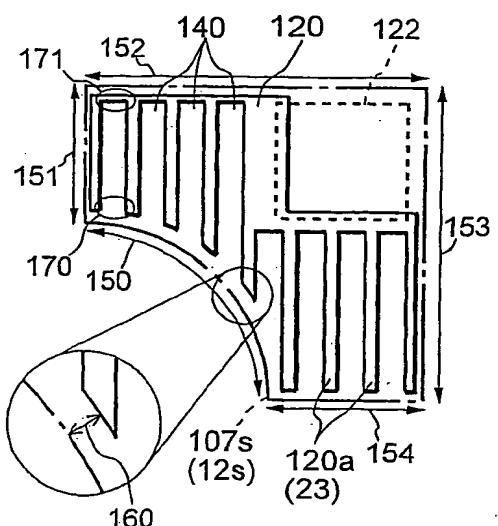


図26D

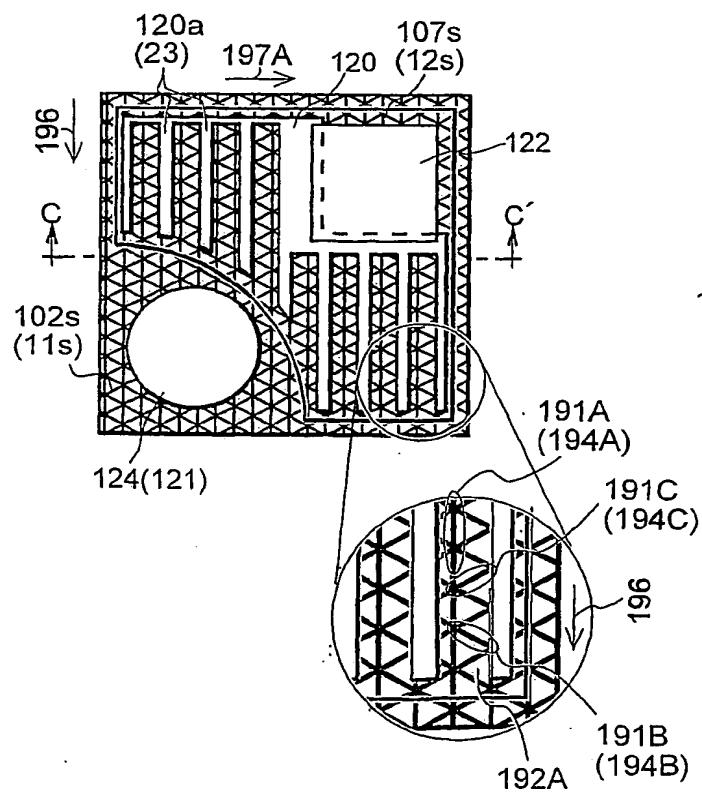
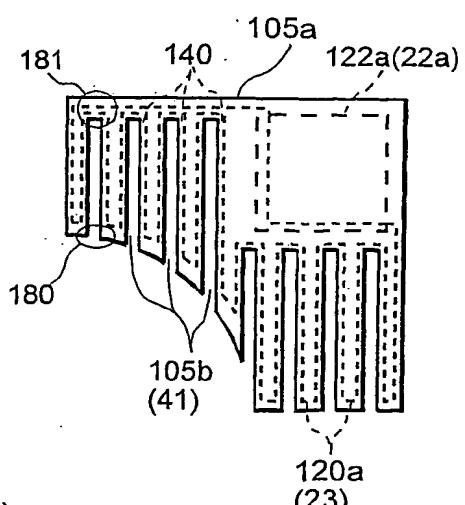


図26C



16 / 19

図27A

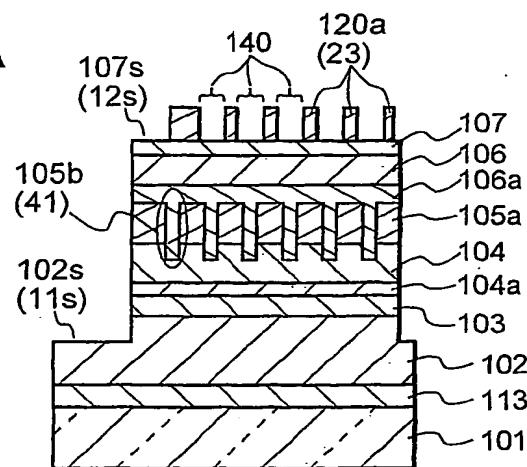


図27B

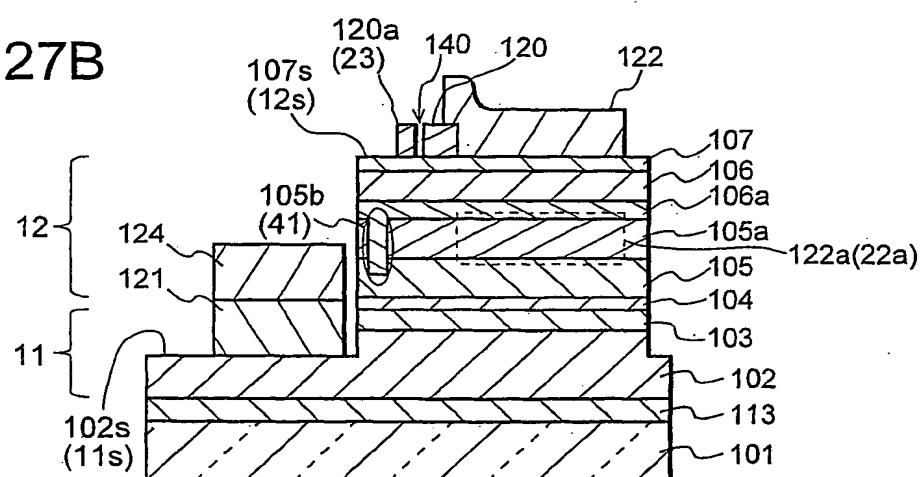
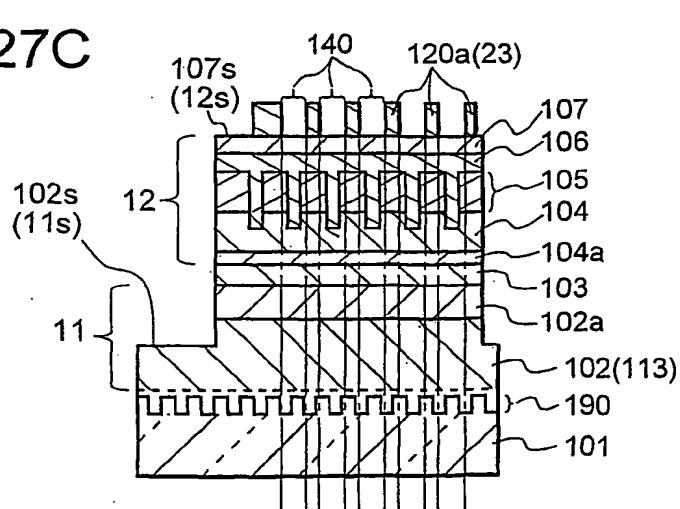


図27C



17 / 19

図28A

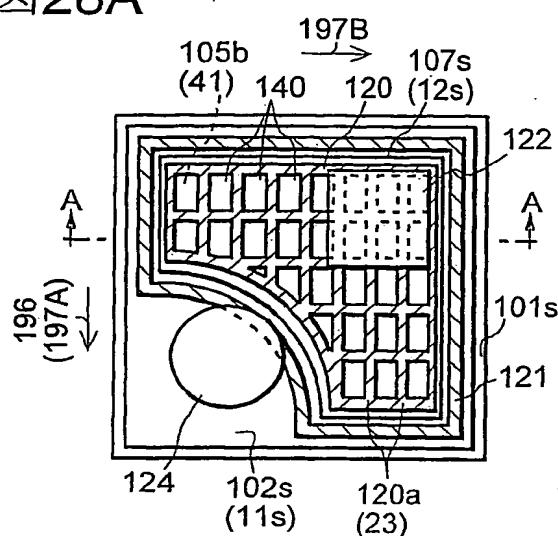


図28C

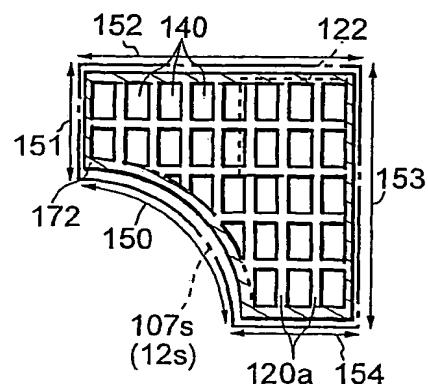


図28B

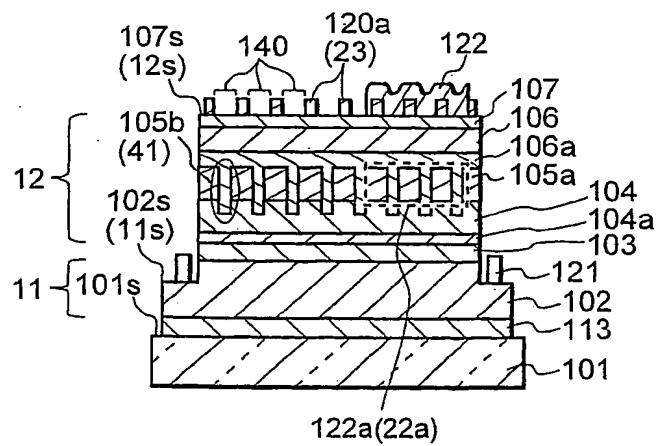
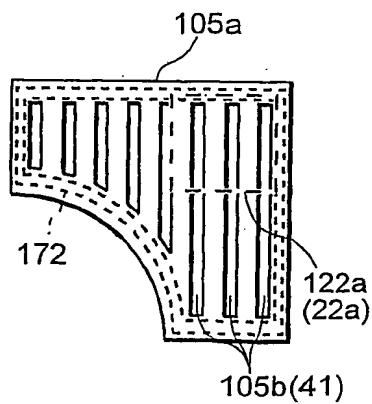


図28D



18 / 19

図29A

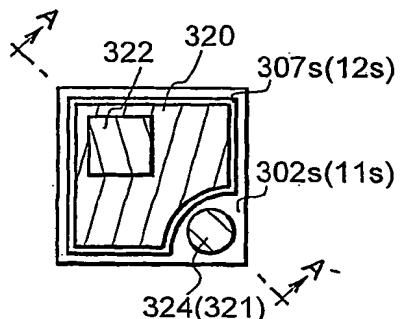


図29B

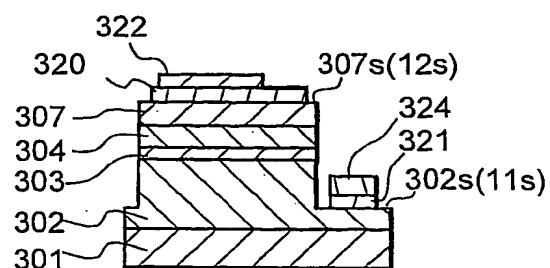


図30A

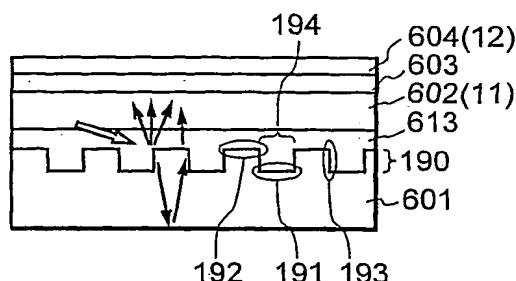


図30B

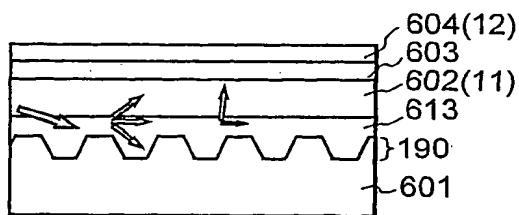


図30C

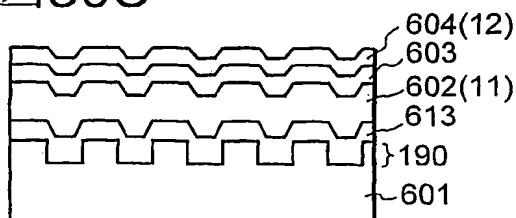


図30D

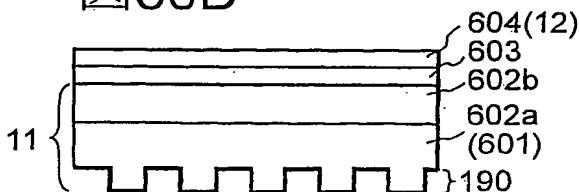
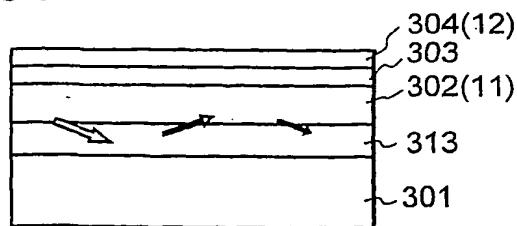


図31



19 / 19

図32

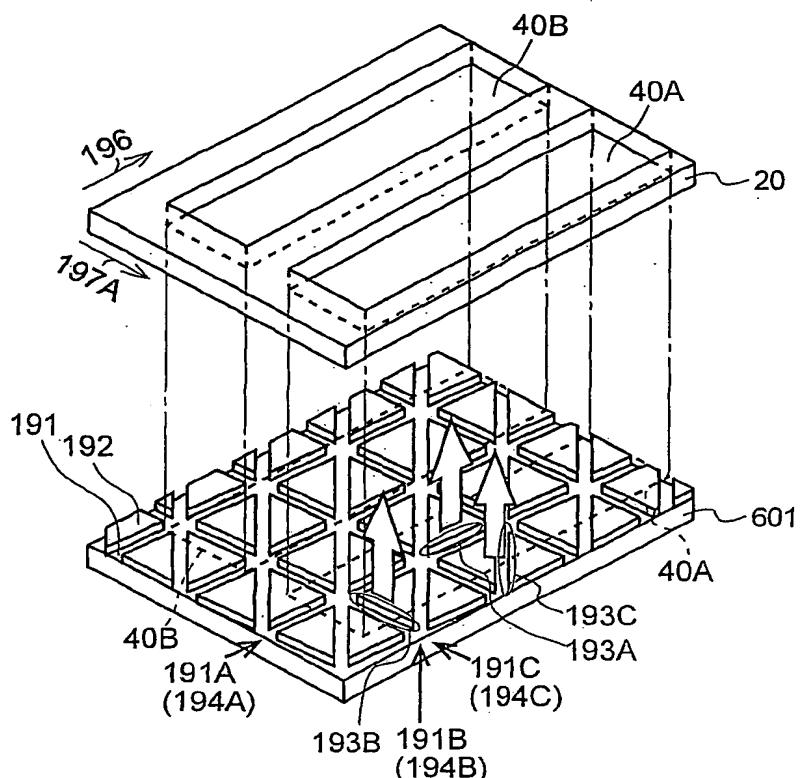
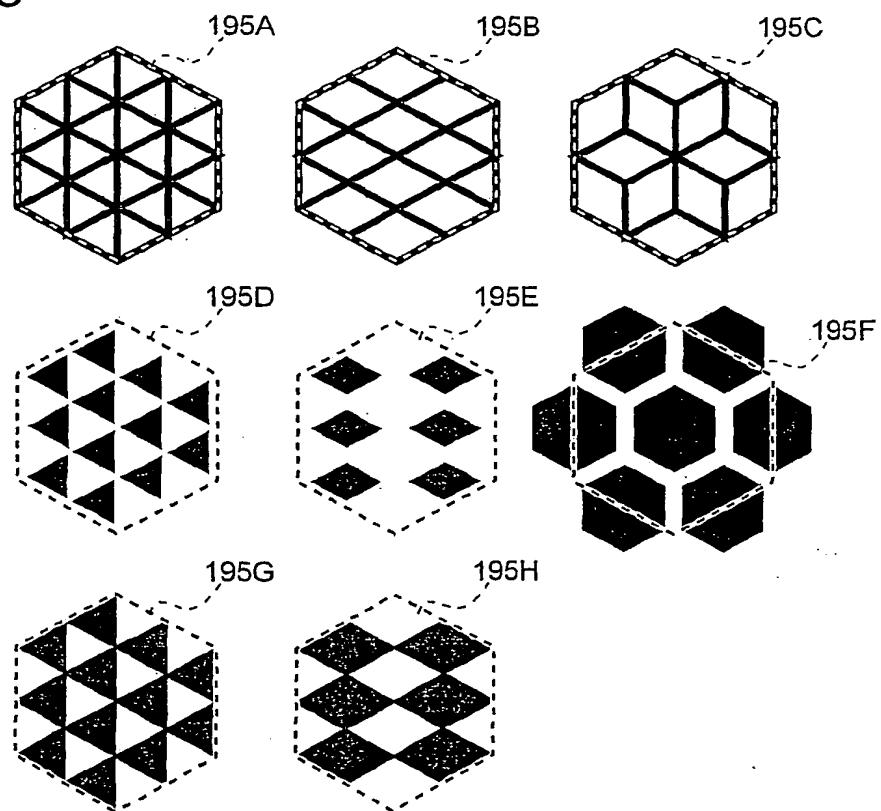


図33



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/05998

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.C1' H01L33/00, H01S5/323

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.C1' H01L33/00, H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST FILE (JOIS), WPI (DIALOG)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 09-312442 A (Rohm Co., Ltd.), 02 December, 1997 (02.12.97), Par. Nos. [0036] to [0041] (Family: none)	1-48
Y	JP 2000-174340 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 23 June, 2000 (23.06.00), Par. Nos. [0023] to [0030] (Family: none)	1-48
Y	JP 10-135519 A (Toshiba Corp.), 22 May, 1998 (22.05.98), Par. No. [0039]; Fig. 6 (Family: none)	2-9, 13-21, 35-48

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

"A"	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier document but published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search 02 October, 2002 (02.10.02)	Date of mailing of the international search report 29 October, 2002 (29.10.02)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/05998

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-126947 A (Sony Corp.), 11 May, 1999 (11.05.99), Par. Nos. [0060] to [0062]; Figs. 6, 7 (Family: none)	2-9, 13-21, 35-48
Y	JP 08-032116 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 02 February, 1996 (02.02.96), Par. Nos. [0012], [0013]; Fig. 3 (Family: none)	4-9
Y	JP 11-274560 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 08 October, 1999 (08.10.99), Figs. 14 to 16 (Family: none)	9, 13-21, 29-34, 43-48
Y	JP 2000-174339 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 23 June, 2000 (23.06.00), Figs. 1, 3, 4 (Family: none)	9, 13-21, 29-34, 43-48
Y	JP 2000-200946 A (Matsushita Electronics Corp.), 18 July, 2000 (18.07.00), Par. No. [0053] (Family: none)	28
Y	JP 2000-106455 A (Sharp Corp.), 11 April, 2000 (11.04.00), Par. Nos. [0044] to [0055]; Figs. 1, 3, 4 (Family: none)	35-48
Y	JP 11-266034 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 28 September, 1999 (28.09.99), Fig. 4 (Family: none)	35-48
Y	US 3513103 A (Sylvania Electric Products Inc.), 19 May, 1970 (19.05.70), Full text; all drawings & JP 47-049989 B & GB 1177316 A	43-45
Y	WO 97/48138 A2 (Philips Electronics N.V.), 18 December, 1997 (18.12.97), Full text; all drawings & JP 11-510968 A & EP 856202 A2	43-45

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl' H01L33/00, H01S5/323

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl' H01L33/00, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)
 WPI (DIALOG)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 09-312442 A (ローム株式会社) 1997. 12. 02 【0036】-【0041】 ファミリーなし	1-48
Y	JP 2000-174340 A (三菱電線工業株式会社) 2000. 06. 23 【0023】-【0030】 ファミリーなし	1-48

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 10. 02

国際調査報告の発送日

29.10.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

金高 敏康

2K 9712

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	JP 10-135519 A (株式会社東芝) 1998. 05. 22 【0039】，第6図 ファミリーなし	2-9, 13 -21, 35 -48
Y	JP 11-126947 A (ソニー株式会社) 1999. 05. 11 【0060】-【0062】，第6, 7図 ファミリーなし	2-9, 13 -21, 35 -48
Y	JP 08-032116 A (豊田合成株式会社) 1996. 02. 02 【0012】，【0013】，第3図 ファミリーなし	4-9
Y	JP 11-274560 A (三洋電機株式会社) 1999. 10. 08 第14-16図 ファミリーなし	9, 13-2 1, 29-3 4, 43-4 8
Y	JP 2000-174339 A (三菱電線工業株式会社) 2000. 06. 23 第1, 3, 4図 ファミリーなし	9, 13-2 1, 29-3 4, 43-4 8
Y	JP 2000-200946 A (松下電子工業株式会社) 2000. 07. 18 【0053】 ファミリーなし	28
Y	JP 2000-106455 A (シャープ株式会社) 2000. 04. 11 【0044】-【0055】，第1, 3, 4図 ファミリーなし	35-48
Y	JP 11-266034 A (日亜化学工業株式会社) 1999. 09. 28 第4図 ファミリーなし	35-48

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	U S 3 5 1 3 1 0 3 A (SYLVANIA ELECTRIC PRODUCTS Inc.) 1 9 7 0. 0 5. 1 9 全文、全図 J P 4 7 - 0 4 9 9 8 9 B & G B 1 1 7 7 3 1 6 A	4 3 - 4 5
Y	W O 9 7 / 4 8 1 3 8 A 2 (PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 1 9 9 7. 1 2. 1 8 全文、全図 & J P 1 1 - 5 1 0 9 6 8 A & E P 8 5 6 2 0 2 A 2	4 3 - 4 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.